

MAI 2023

INGENIØRGEOLOGISK FAGRAPPOR

KVERNBRUA



COWI

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby
Denmark

TLF +45 56 40 00 00
FAKS +45 56 40 99 99
WWW cowi.com



OPPDRAGSNR.

A246173

DOKUMENTNR.

RAP-GEO-KVE-01

VERSJON

01

UTGIVELSESDATO

23.05.23

BESKRIVELSE

Ingeniørgeologisk rapport

UTARBEIDET

BETR

KONTROLLERT

SKAN

GODKJENT

TSRO

DOKUMENTINFORMASJON	
Rapporttittel:	Ingeniørgeologisk fagrapport Kvernbrua
Dato:	23.05.2023
Utgave:	23.05.2023
Filnavn:	RAP-GEO-KVE-01 Ingeniørgeologisk fagrapport
Oppdragsgiver:	Trøndelag fylkeskommune
Kontaktperson hos Trøndelag fylkeskommune:	Jonas Höglund
Utfører:	COWI AS
Prosjektleder COWI AS:	Tonje Strøm Romstad
Utarbeidet av:	Benjamin Trøan
Sidemannskontroll:	Siv Krane Adamsen
Godkjent:	Tonje Strøm Romstad

Forsidefoto: Dronefoto av den eksisterende Kvernbrua
(Foto: Trøndelag fylkeskommune)

INNHOOLD

Innledning	7
Om rapporten	8
2.1 Prosjekteringsforutsetninger	8
3. Geoteknisk kategori	9
3.1 Bergskjæringer	9
3.2 Brufundamenter	10
4. Grunnlag	13
5. Generell informasjon	15
5.1 Kartgrunnlag	15
5.2 Overordnet berggrunnsgeologi	15
5.3 Bergartenes mekaniske egenskaper	17
6. Befaringsobservasjoner	20
6.1 Oversikt over befaringslokaliteter	20
6.2 Befaringslokalitet B01	20
6.3 Befaringslokalitet B02	24
6.4 Befaringslokalitet B03	24
7. Bergskjæring	28
7.1 Skjæringsgeometri	28
7.2 Berggrunn og løsmasser	29
7.3 Befaringsobservasjoner	29
7.4 Skred	29
7.5 Hydrogeologi	29

8. Brufundamenter	30
8.1 Geometri, generell informasjon	30
8.2 Brufundament nord	30
8.3 Brufundament sør	31
9. Løsnemekanismer	34
9.1 Tolkning av løsnemekanismer	34
10. Bergskjæring	36
10.1 Skjæring B01 og B02	36
11. Brufundamenter Kvernbrua	39
11.1 Resultater Schmidt målinger	39
11.2 Tolkning av sprekkesett og stabilitet	40
11.3 Beregning av bæreevne	44
12. Sikringsbehov	48
12.1 Tolkning av sikringsbehov	49
13. Boring og sprengning	53
13.1 Berguttak og utforming av tverrprofil	53
13.2 Nøyaktig boring og borbarhet	54
13.3 Spesielle hensyn	54
13.4 Vibrasjoner	54
14. Usikkerheter	57
15. Oppfølging i byggefasen	58
16. SHA og YM	59
Referanser	60

Innledning

Trøndelag fylkeskommune har engasjert COWI via rammeavtale for prosjektet med detaljreguleringsplan og byggeplan for fv. 72 Kvernbrua i Verdal kommune. Kvernbrua ligger i Inndalen og krysser elva Inna litt vest for Sul, se Figur 2.1-1. Fv. 72 er en del av fylkeskommunen sine B-veger og er viktig for godstransporten, spesielt tømmertransporten mellom Sverige og Norge.

Fv. 72 har dårlig horisontal og vertikal linjeføring øst/vest for brua, og brua er smal med en dekkebredde på ca. 6,5 m. Brua er i dårlig forfatning og det skal bygges ny bru. Brukonsept er valgt slik at tiltak i elva minimeres både i anleggsfasen og permanent.

Som følge av brufornyningen må også veglinjene tilknyttet brua tilpasses ny situasjon. Det vil bli behov for etablering av skjæring på lokalveg nord for brua, samt utvide skjæringene nordover for å sikre god tilkobling til hovedveg og bru, og for å overholde siktkrav.



Figur 2.1-1: Oversiktskart over Kvernbrua. Ny veglinje er uthevet med svart farge.

Om rapporten

Denne rapporten er en del av reguleringsplanen for Kvernbrua. Rapporten omhandler ingeniørgeologiske fakta og tolkninger vedrørende bergskjæringen på lokalvegen og fundamenteringsforholdene for Kvernbrua.

Rapporten omhandler ikke fakta og tolkning av hydrologiske forhold og geoteknikk. Disse forholdene blir beskrevet kort i rapporten og videre henvist til egne rapporter.

2.1 Prosjekteringsforutsetninger

For dette prosjektet gjelder følgende regelverk, standarder og veiledninger:

- > Vegnormal N200 Vegbygging [1]
- > Vegnormal N400 Bruprosjektering [2]
- > Håndbok V225 Bergskjæringer [3]
- > Eurokode 0 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [4]
- > Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering, tillegg G [5]
- > Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [6]

Andre relevante rapporter:

- > RAP-RIG-001 Datarapport Fv 72 Kvernbrua GU [7].
- > NOT-HYD-KVE-01 Flomanalyse notat Kvernbrua [8].
- > RAP-YM-KVE-001 Miljøprogram Detaljregulering for Kvernbrua [9].

3. Geoteknisk kategori

3.1 Bergskjæringer

Krav 1.1.1.3-1 i N200 [1] gir en oversikt over kriterier som legges til grunn for inndeling av bergskjæringer i geotekniske kategorier. Dette oppsummeres i Tabell 3.1-1.

Tabell 3.1-1: Geotekniske kategorier for bergskjæringer.

Geoteknisk kategori 3	Bergskjæringer høyere enn 10 m (målt fra ferdig veg).
	Bergskjæringer der svakhetssoner/slepper vil kunne føre til større utglidninger.
	Bergskjæringer i foten av høye skrånninger/fjellsider der inngrep vil kunne føre til stabilitetsproblemer.
	Bergskjæringer med skrånende terreng over skjæring, hvor skredfare og stabilitet må håndteres.
	Bergskjæringer der hensynet til bygninger, konstruksjoner, infrastruktur o.l. i umiddelbar nærhet må ivaretas.
	Bergskjæringer i bergarter som vil kunne gi forurensende avrenning.
Geoteknisk kategori 2	Middels høye (inntil 10 m) bergskjæringer uten spesiell risiko eller vanskelige/uvanlige grunnforhold mht. sprengning og stabilitet.
Geoteknisk kategori 1	Lave skjæringer < 5m

Denne rapporten omtaler én skjæring.

Det kan i senere planfaser avdekkes forhold som gjør at bergskjæringen omklassifiseres til en annen kategori.

Krav 1.1.2, 1.1.3, 1.2.1 og 1.2.2 i N200 knytter henholdsvis konsekvensklasse, pålitelighetsklasse, prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse til geoteknisk kategori for bergskjæringer [1]. Dette er oppsummert i Tabell 3.1-2.

Tabell 3.1-2: Sammenheng mellom geoteknisk kategori, konsekvensklasse, pålitelighetsklasse, prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse for bergskjæringer etter N200 [1].

Geoteknisk kategori	Konsekvens-klasse [CC]	Pålitelighets-klasse [RC]	Prosjekterings-kontrollklasse	Utførelses-kontrollklasse
1	CC1	RC1	PKK1	UKK1
2	CC2	RC2	PKK2	UKK2
3	CC3	RC3	PKK3	UKK3

I Novapointmodellen er skjæringen målt til å ha maksimal høyde i overkant av 12 meter. Høyde på skjæringer er hovedgrunnlaget for å bestemme geoteknisk kategori. Det finnes i tillegg noen andre vilkår som uansett vil gi geoteknisk

kategori 3, slik som vist i Tabell 3.1-1. På grunn av høyde på over 10 meter blir derfor skjæringen plassert i geoteknisk kategori 3. Dette gjør at bergskjæringen havner i prosjekteringsklasse PKK3 og utførelsesklasse UKK3, slik som vist i Tabell 3.1-2. PKK3 utløser behov for utvidet kontroll av rapporten.

3.2 Brufundamenter

Ut fra kriterier gitt i Eurokode 0 [4] skal det velges konsekvensklasse (CC). Videre skal det basert på Nasjonalt tillegg i Eurokode 0 angis pålitelighetsklasse (RC), hvor et utdrag er vist i Tabell 3.2-1.

Tabell 3.2-1: Utdrag av tabell NA.A1 (901) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 (Standard Norge, 2008).

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse (CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				X
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller*.		(X)	X	(X)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i enkle og oversiktlige grunnforhold*	X	(X)		
Veg- og jernbanebruer			X	
*Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.				

Som det fremgår av Tabell 3.2-1 er grunn- og fundamenteringsarbeider splittet i to alternativer; "kompliserte tilfeller" og "enkle og oversiktlige grunnforhold". Området rundt Kvernbrua er oversiktlig og forholdsvis enkle. Det er lite løsmasser i området og det er forholdsvis greit å kartlegge geologien i området.

Geoteknisk kategori fremkommer som en funksjon av pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad [10]. Vurdering av vanskelighetsgrad er vist i Tabell 3.2-2. Geoteknisk kategori defineres som vist i Tabell 3.2-3.

Tabell 3.2-2: Vurdering av vanskelighetsgrad [6].

Vanskelighetsgrad	
Lav	Oversiktlige og enkle grunnforhold eller et prosjekt som er lite påvirket av grunnforholdene. Ingen eller bare enkle grunnundersøkelser kreves for å fastlegge eventuelle nødvendige geotekniske parametere. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Middels	Noe uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan fastlegges med rimelig grad av nøyaktighet. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Høy	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan bare delvis fastsettes og undersøkelser under bygging kan være nødvendig.

Tabell 3.2-3: Definisjon av geoteknisk kategori [6].

Pålitelighetsklasse	Vanskelighetsgrad		
	Lav	Middels	Høy
CC/RC 1	1	1	2
CC/RC 2	1	2	2/3
CC/RC 3	2	2/3	3
CC/RC 4*	*	*	*

Vanskelighetsgraden regnes til å være lav til middels. Det nordre brufundamentet står delvis i fyllitt, som kan være utfordrende mtp. bæreevne. Det søndre brufundamentet ligger i grønnskifer med flakete berg som har mulighet for utglidning.

Pålitelighetsklasse 2 og vanskelighetsgrad middels gir geoteknisk kategori 2 for brufundamentene.

Pålitelighetsklasse 2 medfører at prosjektet havner i prosjekteringskontrollklasse PKK2, se Tabell 3.2-4, og utførelseskontrollklasse UKK2, se Tabell 3.2-5. Dette gir krav om utvidet kontroll av rapporten.

Tabell 3.2-4: Tabell NA.A1(902) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [4], med beskrivelse og bestemmelse av prosjekteringskontrollklasse.

Valg av prosjekteringsklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighets-klasse	Minste prosjekterings-kontrollklasse	(DSL1) ¹⁾	Intern systematisk kontroll (DSL 2) ¹⁾	Utvidet kontroll (DSL 3) ¹⁾
1	PKK1 ²⁾	kreves	kreves ikke	kreves ikke
2	PKK2 ²⁾	kreves	kreves	kreves
3	PKK3	kreves	kreves	kreves
4	Skal spesifiseres	kreves	kreves	kreves

¹⁾Se punkt B4 (informativt tillegg B) for betegnelsen DSL.
²⁾Det kan velges høyere prosjekteringsklasse.

Tabell 3.2-5: Tabell NA.A1(903) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [4], med beskrivelse og bestemmelse av utførelseskontrollklasse.

Valg av utførelses-kontrollklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighets-klasse	Minste utførelses-kontrollklasse	Egenkontroll (rn systematisk kontroll (IL 2) ¹⁾	Utvidet kontroll (IL 3) ¹⁾	
1	UKK1 ²⁾	kreves	kreves ikke	kreves ikke
2	UKK2 ²⁾	kreves	kreves	kreves
3	UKK3	kreves	kreves	kreves
4	UKK3, eventuelt med tilleggsbestemmelser	kreves	kreves	kreves

¹⁾Se punkt B5 (informativt tillegg B) for betegnelsen IL.
²⁾ Det kan velges høyere prosjekteringsklasse.

4. Grunnlag

Det er utført flere typer undersøkelser i denne planfasen.

- > Geotekniske boringer og prøvetakinger
- > Ingeniørgeologisk befarings

Det ble utført 6 totalsonderinger og 5 prøveserier. Alle sonderingene har sikker bergpåvisning. Se kart over grunnundersøkelsene i Figur 5.3-3. Se ellers geoteknisk datarapport [7].

2. desember 2022 ble det utført ingeniørgeologisk befarings av to ingeniørgeologer fra COWI. Data fra denne befaringsen er brukt i den ingeniørgeologiske kartleggingen i denne rapporten.

FAKTADEL

5. Generell informasjon

Kvernbrua planlegges som en 1-spenns prefabrikkert betongelementbru med spennvidde på 35 m. Brukonsept er valgt slik at tiltak i elva minimeres både i anleggsfasen og permanent. Se ellers kapittel 7.1, kapittel 8.1, kapittel 8.2.1 og kapittel 8.3.1.

5.1 Kartgrunnlag

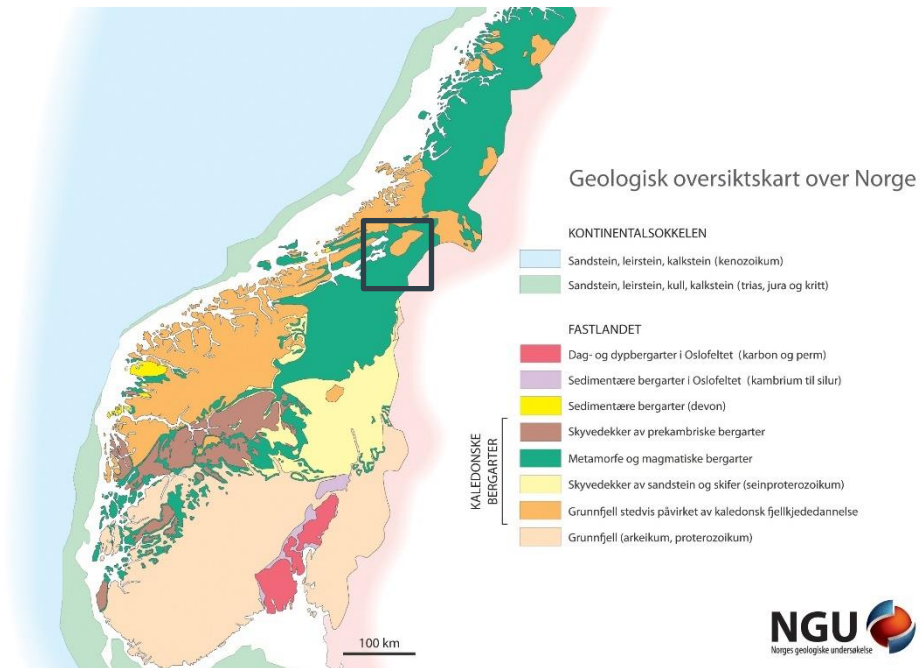
Følgende kart er brukt i forbindelse med rapporten:

- > Berggrunnskart, NGU. [11]
- > Løsmassekart, NGU. [12]
- > Grus- og pukkkforekomster, NGU. [13]
- > Relieffkart DTM, GEONORGE [14]

5.2 Overordnet berggrunnsgeologi

Trøndelagsregionen er bygd opp av det kaledonske skyvedekket som ligger over grunnfjellet. Grunnfjellet er stedvis påvirket av den kaledonske fjellkjededannelsen. I Trøndelag preges området spesielt av metamorfe og magmatiske bergarter. I Verdal kommune forekommer basalt, gabbro, glimmerskifer og fyllitt tilhørende øvre dekkserie, og sandstein fra undre dekkserie, som er mer typisk i retning Sverige [15].

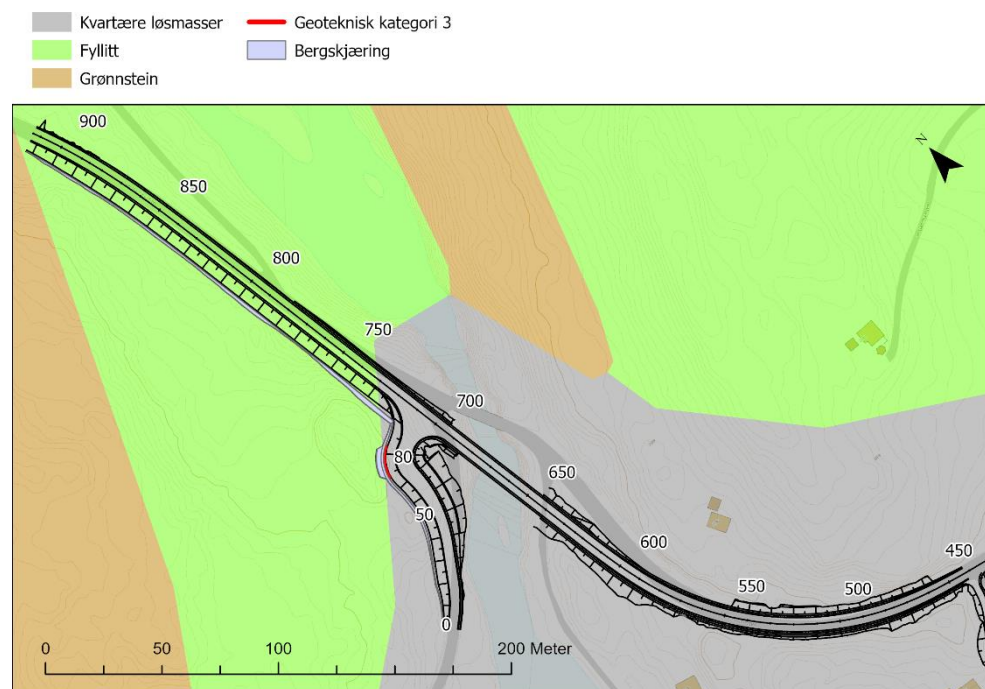
I området rundt Kvernbrua finnes det en veksling mellom grønskifer og fyllitt. Grønskiferen regnes som omvandlet havbunn fra Iapetushavet, og er en del av det kaledonske skyvedekket. Over havbunnen ble det sedimentert sand og leire. Ved komprimering av disse sedimentene ble det dannet bl.a. leirstein og sandstein. Under deformasjonen ble disse omvandlet til fyllitt og metasandstein.



Figur 5.2-1: Regionalgeologisk kart over deler av Norge. Svart firkant illustrerer området rundt Kvernbrua [16].

5.2.1 Berggrunn

Berggrunnen rundt Kvernbrua består hovedsakelig av grønnskifer i sør og fyllitt i nord. Det finnes ikke et tydelig skille, men en overgang mellom disse. Denne overgangen mellom bergarter er omtrent i elva. På sørsiden av brua har berget et tydelig blokkaktig preg, mens nordsiden har mer foliært og knust berg.



Figur 5.2-2: Berggrunnskart for Kvernbrua.

I berggrunnskartet fra NGU (vedlegg 1 og Figur 5.2-2) kan man se at det er fyllitt og grønnstein som ligger i en veksling. Under befaring ble denne grønnsteinen observert til grønnskifer, da den hadde preg av skifrihet på grunn av den blokk- flakaktige strukturen/ lagdelingen. Det vil være riktig å bruke både grønnstein og grønnskifer om denne bergarten, da det ikke er en absolutt overgang mellom disse, men en glidende (metamorf) overgang. I denne rapporten er det valgt å omtale bergarten som grønnskifer.

Se også geoteknisk datarapport [7] for grunnboringer. Datarapporten beskriver at samtlige boringer har sikker bergpåvisning med 3 meter boring i berg og at løsmassemekktigheten er lav (mellom 1,73 og 4,55 meter).

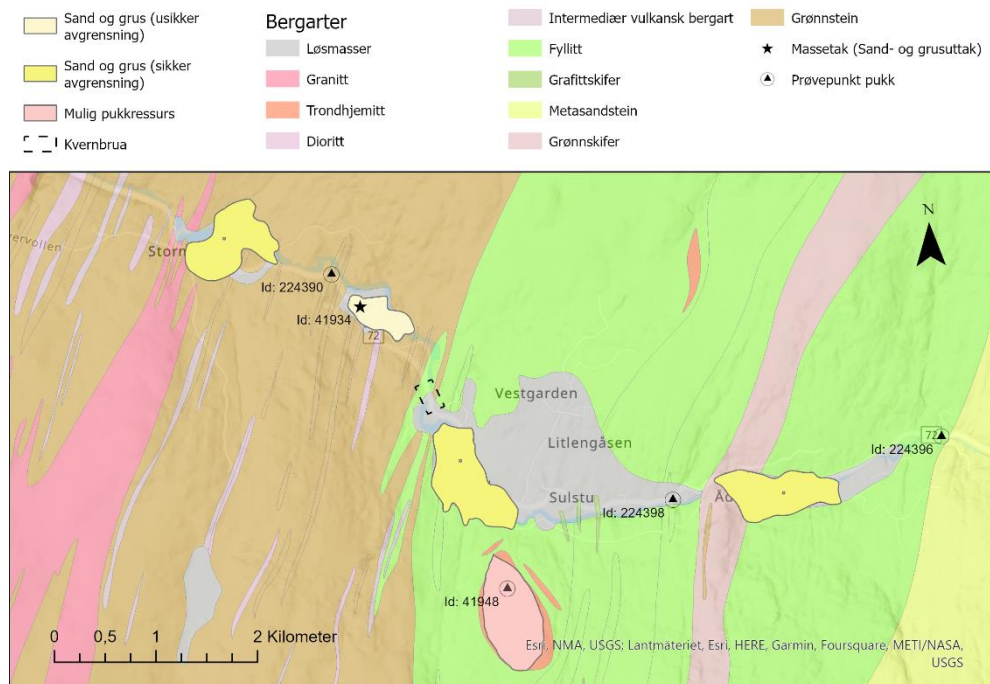
5.3 Bergartenes mekaniske egenskaper

Tabell 5.3-1 gir en oversikt over registrerte bergartstyper eller løsmasstype, masseuttak og bergmekaniske egenskaper for steinmaterialer i nærheten av Kvernbrua [13]. Noen av prøvepunktene inneholder informasjon om Los Angeles verdi (LA), Micro Deval koeffisient (MD) og kulemølleverdi. Beliggenheten av prøvepunktene er vist i Figur 5.3-2.

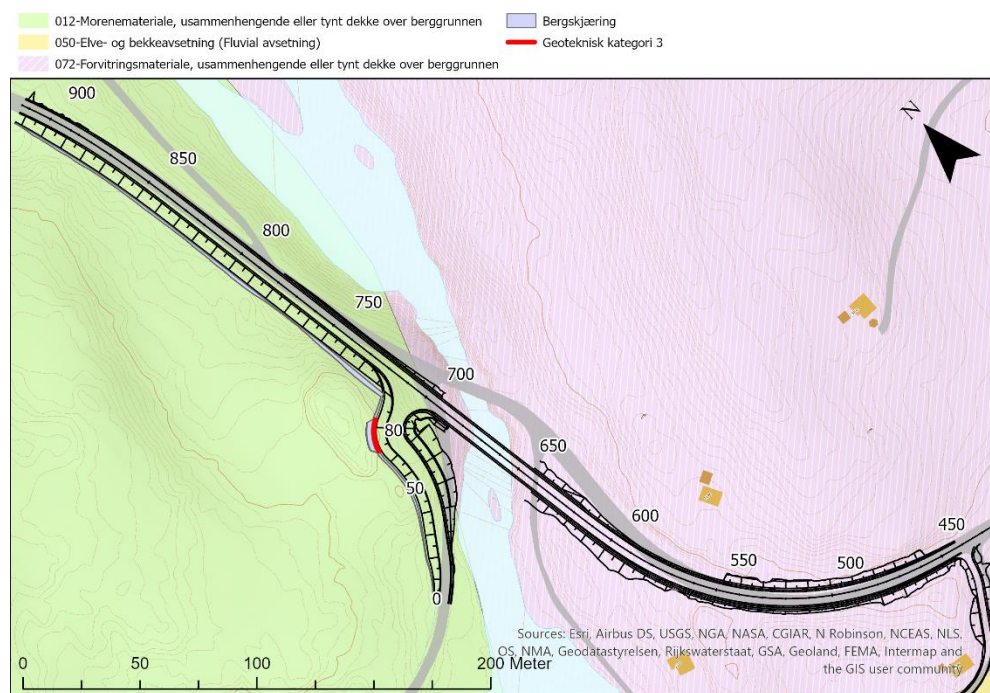
Fyllitten ved Id: 224398 og Id: 224396 er ikke anbefalt til vegbyggingsmateriale da de bergmekaniske verdiene overstiger kravene til vegbyggingsmateriale etter N200 [1]. Gabbroen ved vegskjæringen (Id: 224390) forventes å ha gode materialegenskaper og kan egne seg som vegbyggingsmateriale [1], men er det er ikke testet for Los-Angeles-verdi. Gabbroen ligger i et område som er beskrevet som grønnstein i NGUs berggrunnskart. Grønnstein er en metamorf bergart som er omvandlet fra bl.a. gabbro. Den forventes å ha dårligere bergmekaniske egenskaper og må testes hvis den planlegges å brukes til vegbyggingsformål. Gabbroen som er registrert ved Id: 224390 er trolig samme bergart som er registrert som grønnskifer i denne rapporten, da metamorfosegraden varierer i området. Trondhemitten ved steinbruddet (Id: 41948) har ikke informasjon om MD, LA og kulemølle.

Tabell 5.3-1: Oversikt over eksisterende prøvepunkter for grus- og pukkressurser. Se Figur 5.3-2 for plassering av prøvepunkter. i = ingen informasjon.

Id-nr	Beskrivelse	Bergart/ løsmasstype	Masseuttak	MD/ LA/ kulemølle
Id: 224390	Vegskjæring	Gabbro	Ikke registrert	10/ i/ 13,3
Id 41934	Dalfylling	Breelavsetning (25 % grus, 75 % sand)	Sand og grus (liten betydning)	i/ i/ i
Id: 41948	Steinbrudd	Trondhemitt (homogen)	Ikke registrert (mulig fremtidig uttaksområde)	i/ i/ i
Id: 224398	Vegskjæring	Fyllitt (varierende)	Ikke registrert	69/ 42,9/ 79,2
Id: 224396	Vegskjæring	Fyllitt	Ikke registrert	45/ 36,1/ 54,1



Figur 5.3-2: Oversikt over grus- og pukkforekomster i nærheten av Kvernbrua.

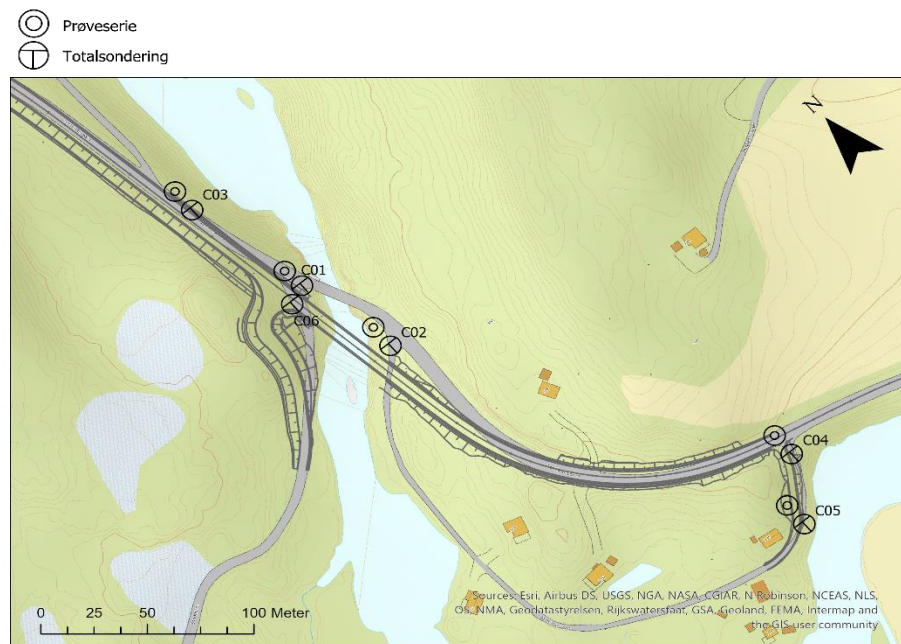


Figur 5.3-1: Løsmassekart for Kvernbrua.

Tabell 5.3-2 viser resultater fra sylinderprøvene som er tatt under grunnundersøkelsene. Beliggenhet av disse prøvepunktene er vist i Figur 5.3-3. Generelt er det en veksling mellom sandig, siltig og grusig materiale. Kornkurver fra datarapporten [7] viser at dette er typisk morenemateriale, noe som også stemmer overens med løsmassekartet fra NGU, vist i Figur 5.3-1. C05 har mer preg av breelvmateriale.

Tabell 5.3-2: *Sylinderprøver fra grunnundersøkelser [7].*

Sylindernr (prøvenummer)	Dybde	Prøvebeskrivelse
C01	0,0-0,5 m	Sandig, siltig, grusig MATERIALE
C02	0,0-1,0 m	Sandig, siltig GRUS
C02	1,0-1,5 m	Grusig, sandig, siltig MATERIALE
C03	0,0-2,0 m	Grusig, sandig, siltig MATERIALE
C04	0,0-2,0 m	Grusig, sandig, siltig MATERIALE
C05	0,0-0,3 m	Sandig, siltig GRUS
C05	0,3-1,0 m	Siltig, sandig, grusig, organisk MATERIALE
C05	1,0-1,3 m	Sandig SILT

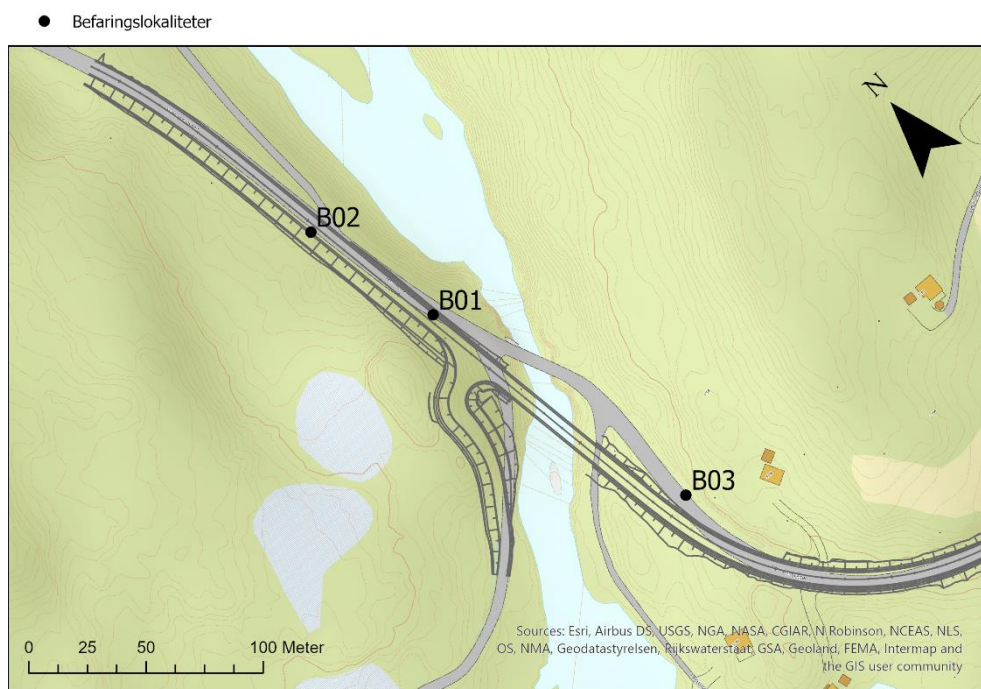


Figur 5.3-3: *Oversikt over grunnundersøkelser rundt Kvernbrua.*

6. Befaringsobservasjoner

6.1 Oversikt over befaringslokaliteter

Befaringslokalitetene som er beskrevet i dette kapitlet kan ses i Figur 6.1-1.



Figur 6.1-1: Oversikt over befaringslokaliteter. Ny veglinje er uthevet med grå farge.

6.2 Befaringslokalitet B01

Tabell 6.2-1 og Tabell 6.2-2 gir en oversikt over data og sprekkesettregistrering fra befaringslokalitet B01.

Det ble observert tre sprekkesett på befaringslokalitet B01. Foliaasjonen hadde vestlig fallretning, med fall på 40°. Foliaasjonsplanet (S1) var bølget og hadde en glinsende overflate, som er typisk for fyllitt. På grunn av et bølget og ujevnt plan var det stor variasjon i sprekkeåpningene fra S1. De to andre sprekkesettene, S2 og S3 hadde henholdsvis nordlig og østlig fallretning med fall på henholdsvis 65° og 50°. Disse sprekkeåpningene var noe bølget, men er registrert som rette sprekker i Tabell 6.2-2.

Bergarten i B01 ble observert som fyllitt. Fyllitten var finkornet, og det ble funnet innslag av kvartsknoller i fyllitten. Det ble ikke observert sprekkefyllinger, annet enn sand i sprekkeåpningene. Overflateoksidasjon ble observert. Noe av berget hadde rødlig farge, som trolig skyldes rust fra f.eks. svovelkis eller andre jernholdige mineraler. Blokkstørrelsen var svært varierende og vanskelig å bestemme. Den ble registrert til 200-600 mm i felt. Det var ingen tegn til vannavrenning som kan gi isskjøving.

Tabell 6.2-1: Generell geologisk beskrivelse for befaringslokalitet B01

Egenskap	
Bergbeskrivelse	Metamorf, finkornet bergart. Glinsende overflate med innhold av kvartsknoller
Bergart	Fyllitt
Isotropi	Anisotrop
UCS	25-50 MPa
RQD	50-75
Antall sprekesett (J_n)	3
J_r	Ru, ujevn, plan
J_a	Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon
Forvittringsgrad	Moderat forvitret
Bergvann	Tørt
Overvann	Nei
Blokkstørrelse	200-600 mm
Blotningsstørrelse	20 m x 1 m x 2 m (LxBxH)
Vær	Klarvær

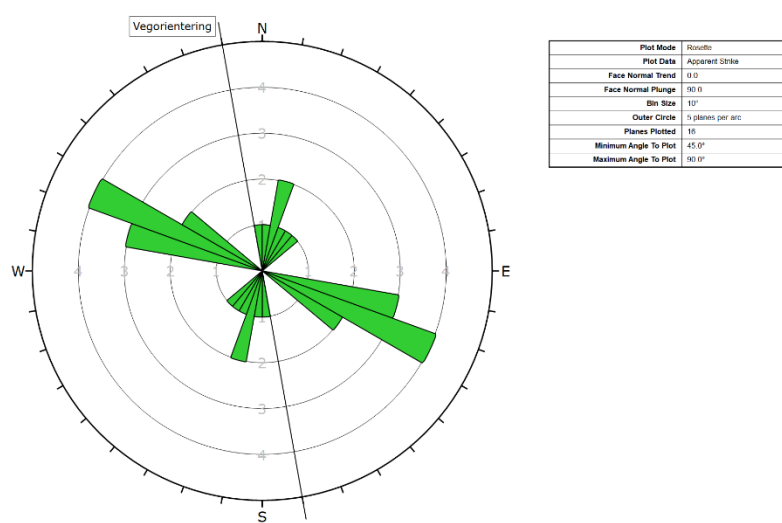
Tabell 6.2-2: Registreringer av sprekesett ved befaringslokalitet B01.

	S1 (foliasjon)	S2	S3
Orientering (fall/fallretning)	40/260	65/022	50/105
Sprekkeutstrekning	5 m	1-2 m	< 1 m
Sprekkeavstand	60-200 mm	200-600 mm	60-200 mm
Sprekkeåpning	0,1-0,25 mm	0,1-0,25 mm	0,1-0,25 mm
Sprekkefyll	Overflateoksidasjon. Noe sand	nei	Ikke observert
Sprekkeruhet mm	Glatt	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan	Plan	Plan
Sprekkeruhet m	Bølget	Rett	Rett

Figur 6.2-2 og Figur 6.2-3 viser bilder fra B01. Berget er foliert og til dels knust enkelte steder. Bølgede sprekkeflater gir stor spredning i sprekkemålingene. Sprekkerose for befaringslokalitet B01 og B02 er vist i Figur 6.2-1.



Figur 6.2-2: Oversiktsbilde fra befarringslokalitet B01. Bildet er tatt mot vest med gul notabok for skala.



Figur 6.2-1: Sprekkerose med data fra både B01 og B02. Lokalitet B02 er en kort lokalitet og er tilsvarende som B01. Data fra B02 er brukt for å få større datamengde for B01 som ligger nærmere skjæringen.



Figur 6.2-3: Nærbilde av fyllitten ved befaringslokalitet B01. Bildet er tatt mot vest med gul notatbok og sekk for skala.

6.3 Befaringslokalitet B02

Befaringslokalitet B02 er tilsvarende som B01 med hensyn til sprekkesett og bergart. Fyllitten i B02 bærer større preg av forvitring og berget smuldrer ved berøring/skraping. Figur 6.3-1 viser et bilde av en skjæring fra denne lokaliteten. Berget har et tydelig rødlig skjær, som skyldes oksidasjon av jernholdige mineraler. Sprekkemålinger fra B02 er brukt for å gi større datamengde til lokalitet B01.



Figur 6.3-1: Oversiktsbilde fra befaringslokalitet B02. Bildet er tatt mot sør-vest med person for skala. Til dels svært forvitret og knust berg (rød ellipse).

6.4 Befaringslokalitet B03

Tabell 6.4-1 og Tabell 6.4-2 gir en oversikt over data og sprekkesettregistrering fra befaringslokalitet B03.

Det ble observert tre sprekkesett for lokalitet B03. Disse samsvarer med sprekkemålingene fra B01. Sprekkesett S2 og S3 er forholdsvis like for B01 og B03. Fall og fallretning for foliasjonsplanet (S1) i B03 er noe forskjellig fra B01. Foliasjonsplanet i fyllitten (B01) var bølget, og spredningen i sprekke­målingene var derfor større i B01 enn for B03. Denne spredningen kan ses i polplottet for B01 i Figur 11.2-1 og for B03 i Figur 11.2-2.

Bergarten ble observert å være grønnskifer under befaring. Bergarten framsto som finkornet, glinsende og hadde et tydelig blokkaktig preg. Det ble observert kvartsbånd i grønnskiferen. Det var lite tegn til forvitring ved B03.

Blokkstørrelsene ved B03 er større enn ved B01. For B03 ble blokkstørrelsene vurdert til å være mellom 200-600 mm – 600-2000 mm, mens blokkene i B01 ble vurdert til å være mellom 60-200 mm – 200-600 mm. Dette kommer av at sprekkeavstanden ved B03 er større enn ved B01.

Tabell 6.4-1: Generell geologisk beskrivelse for befaringslokalitet B03.

Egenskap	
Bergbeskrivelse	Metamorf, finkornet, glinsende. Noen kvartsbånd
Bergart	Grønnskifer
Isotropi	Anisotrop
UCS	25-50 MPa
RQD	75-90
Antall sprekkeseitt (J_n)	3
J_r	Ru, ujevn, plan
J_a	Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon
Forvittringsgrad	Svakt forvitret.
Bergvann	Tørt
Overvann	Nei
Blokkstørrelse	600-2000 mm
Blotningsstørrelse	50 m x 4 m x 6 m (LxBxH)
Vær	Klarvær

Tabell 6.4-2: Registreringer av sprekkeseitt ved befaringslokalitet B03.

	S1 (foliasjon)	S2	S3
Orientering (fall/fallretning)	50/290	70/020	50/105
Sprekkeutstrekning	5-10 m	2-6 m	1-2 m
Sprekkeavstand	200-600 mm	200-600 mm	600-2000 mm
Sprekkeåpning	0,5-2,5 mm	2,5-10 mm	0,25-0,5
Sprekkefyll	Ikke observert	Ikke observert	Ikke observert
Sprekkeruhet mm	Ru	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan	Undulerende	Hakkete
Sprekkeruhet m	Rett	Rett	Rett

Figur 6.4-1 og Figur 6.4-2 og viser henholdsvis et oversiktsbilde og nærbilde fra B03. Det blokkaktige preget er tydelig og utgjør den største forskjellen mellom B01 og B03. Det ble observert en forkastning ved B03 som kan ses i Figur 6.4-3. Videre forløp av denne forkastningen er ukjent.



Figur 6.4-1: Oversiktsbilde fra befaringslokalitet B03. Bildet er tatt mot øst med gul notatbok for skala.

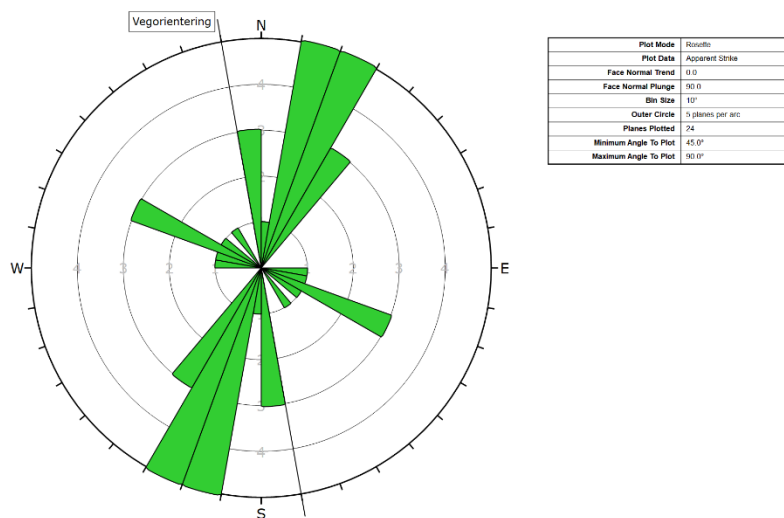


Figur 6.4-2: Nærbilde av grønnskiferen. Bildet er tatt mot øst med gul notatbok for skala.



Figur 6.4-3: Nærbilde av grønnskiferen ved befaringslokalitet B03. Bildet er tatt mot nord med gul notatbok for skala. Forkastning er synlig (rød ellipse).

Sprekkerose fra befaringslokalitet B03 kan ses i Figur 6.4-4.



Figur 6.4-4: Sprekkerose for befaringslokalitet B03.

7. Bergskjæring

7.1 Skjæringsgeometri

Bergskjæringen er ensidig med total lengde i underkant av 300 meter. I underkant av 100 meter av denne går langs lokalvegen. Omtrent 15 meter av skjæringen har en høyde over 10 meter. Skjæringens største høyde er på omtrent 13 meter. Totalt areal for hele skjæringen er omtrent 1660 m³. Alle lengder og areal er målt i Novapointmodellen. Små endringer i geometri kan komme før neste planfase.



Figur 7.1-1: Oversiktsbilde av skjæringen. Utklipp fra Novapointmodellen. Skjæringen er i fjell, men er modellert opp med farger til jordskjæring da bergmodell mangler.

I denne rapporten omtales den delen av skjæringen med østlig fall langs lokalveg som "den første delen" (ca. profilnummer 60-75), sørøstlig fall som "den andre delen" (ca. profilnummer 75-80) og sørlig fall som "den tredje delen" av skjæringen (ca. profilnummer 80-90). Skjæringen langs hovedvegen omtales som "den fjerde delen" (ca. profilnummer 715-910). Den andre delen av skjæringen er ligger i geoteknisk kategori 3.

Tabell 7.1-1: Oversikt over skjæringsgeometri.

Profilnummer lokalveg (Lok.)/ hovedveg (Hov.)	Lengde (m)	Høyde (m)	Areal (m ²)	Kurvet (K) Rett (R)
0-34 (Lok.)	34	< 5	80	R
34-75 (Lok.)	41 (34) *	5-10		K
75-80 (Lok.)	5 (15) *	> 10	600	K
80-90 (Lok.)	10	5-10		R
715-751 (Hov.)	36	5-10	350	R
751-786 (Hov.)	35	< 5	100	R
786-807 (Hov.)	21	5-10	230	R
807-910 (Hov.)	103	< 5	300	R

* Angitt lengde er berørt vegområde. Tall i parentes er skjæringens lengde. På grunn av kurvet utforming vil skjæringens lengde være forskjellig fra berørt vegområde.

Det er ikke sidebratt terreng i nærheten. Skjæringen planlegges med 10:1 helning. Løsmasseskråning over skjæringen planlegges med 1:2 helning.

Første del av skjæringa på lokalvegen har konveks utforming. Den andre delen av skjæringa har konkav utforming. Skjæringa langs hovedvegen er tilnærmet en rett linje. Ved lokalvegens påkobling til hovedveg har skjæringen en tilnærmet vinkelrett knekk. En oversikt over skjæringsgeometrien er gitt i Tabell 7.1-1. Tallene i tabellen er kun veiledende da disse er målt i Novapointmodellen.

7.2 Berggrunn og løsmasser

Hele bergskjæringen tas ut i fyllitt, slik som vist i Figur 5.2-2. Det ble under befaring registrert et tynt løsmassedekke, med forventet løsmassetykkelse på under 0,5 m. Datarapporten for totalsonderingene [7] beskriver at løsmassetykkelsen for de tre totalsonderingene nord for Kvernbrua ligger mellom 1,73 og 4,55 meter. Løsmassematerialet er morene, slik som vist i Figur 5.3-1.

7.3 Befaringsobservasjoner

Se kapittel 6.2 og kapittel 6.3 som omtaler befaringsobservasjoner for lokalitet B01 og B02.

7.4 Skred

Det er gjort en undersøkelse av aktsomhetsområder for skred, samt skred- og flomhendelser som er registrert i NVEs karttjenester. Det er ikke registrert skredhendelser [17] eller flomhendelser [18] i NVEs kartdatabase for området rundt Kvernbrua. Området rundt Kvernbrua inngår ikke i aktsomhetsområde for steinsprang [19] eller jord- og flomskred [20]. Kun et lite parti på den nordre delen av kollen som skjæringen ligger i bratthetskartet til NVE [21]. Dette partiet har en bratthet på 27-30°. Et eventuelt utløpsområde vil være et lite stykke nord for skjæringen. Da dette partiet er lite, og ligger nord for bergskjæringen er skredproblematikk ikke relevant for prosjektering og utførelse av bergskjæring.

7.5 Hydrogeologi

Der er ifølge NGUs grunnvannsdatabase (GRANADA) ikke registrert noen grunnvannsborehull eller grunnvannsoppkomme i nærheten av Kvernbrua [22]. Det ligger en myr like vest for kollen som bergskjæringen skal tas ut i. Dreneringsområdet for denne går ikke inn i bergskjæringen. Det er ikke registrert noen iskjøving ved befaring, berget var stort sett relativt tørt ved alle befaringslokaliteter. Kvernbrua går over en elv som er forholdsvis stri. Vannstanden på elva vil variere avhengig av temperatur- og værforhold. Det er ikke registrert noen flomhendelser slik nevnt i kapittel 7.4.

8. Brufundamenter

8.1 Geometri, generell informasjon

Kvernbrua planlegges som en 1-spenns prefabrikkert betongelementbru med spennvidde på 35 m. Brukonsept er valgt slik at tiltak i elva minimeres både i anleggsfasen og permanent.

Det brukes standardiserte brubjelker med høyde 1,4 m. På bjelker støpes det betongdekke med tykkelse 0,24 m. Total konstruksjonshøyde er 1,64 m. Aksene planlegges med 30° vinkel på veglinja for å redusere brulengden mest mulig. Brua planlegges etter håndbok V426 [23] som gir veiledning til pregodkjente betongbjelker.

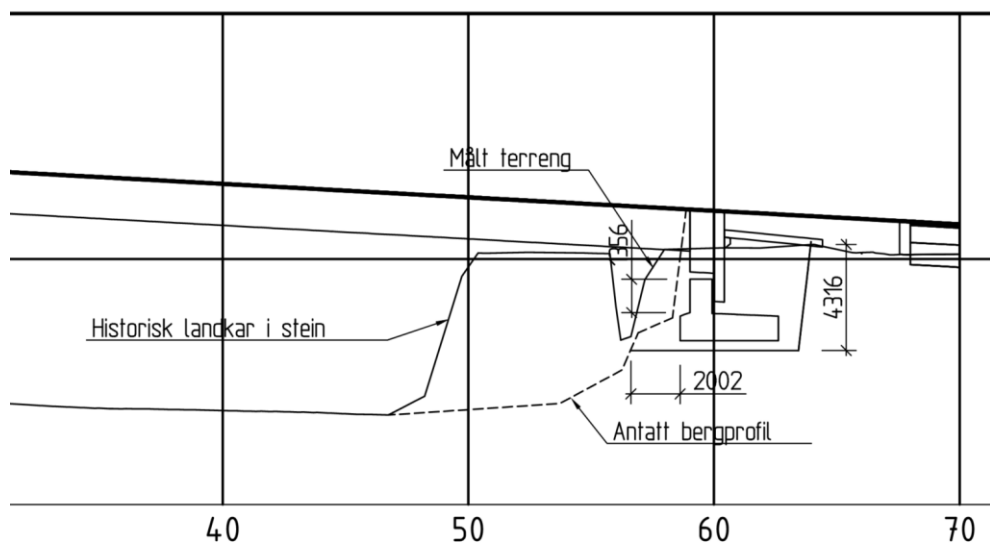
Det forutsettes et allsidig og et ensidig lager i begge akser. Brua planlegges med kjørestærkt H2-rekkverk, slitelag med belegningsklasse A3-4, total tykkelse 92 mm. Det er ikke planlagt belysning eller sluk på brua.

8.2 Brufundament nord

8.2.1 Geometri, generell informasjon

Figur 8.2-1 viser skisse av geometrien for det nordre brufundamentet. Mindre endringer kan komme.

Planlagt høydekote for fundament er 237,6.



Figur 8.2-1: Skisse og geometri av nordre brufundament, historisk landkar og nytt landkar.

8.2.2 Berggrunn og løsmasser

Under befaring ble det observert en overgang mellom grønnskifer i sør og fyllitt i nord. Dette skillet lå omtrent i elva. Det nordre brufundamentet ligger i den fyllittiske delen. Det må likevel bemerkes at denne overgangen mellom grønnskifer og fyllitt ikke er en absolutt grense. På grunn av sikkerhetshensyn ble det ikke befart nede ved elva. Ut fra bilder er det sannsynlig at det også er grønnskifer ved det nordre brufundamentet, men med sterkere preg av fyllitt enn i det søndre brufundamentet. Det er registrert morenemasser for det nordre brufundamentet. Løsmassetykkelsen ble observert til å være grunn under befaring, noe som også kommer fram av de geotekniske undersøkelsene.

8.2.3 Hydrologiske og hydrogeologiske forhold

For grundigere beskrivelse av de hydrologiske forholdene, se NOT-HYD-KVE-01 "Flomanalyse notat Kvernbrua". Se ellers kapittel 7.5 om de hydrogeologiske forholdene ved skjæringen, som også er beskrivende for de hydrogeologiske forholdene for bergfundamentene.

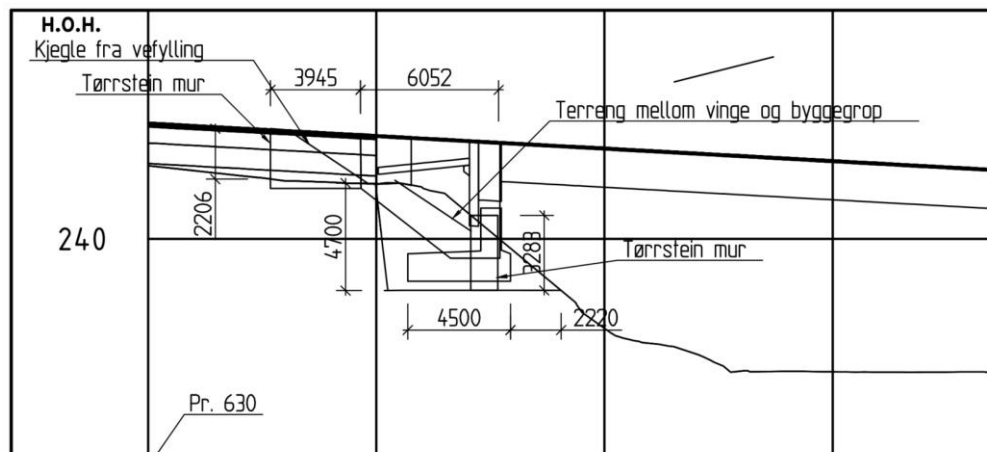
Kvernbrua krysser elva Inna som har relativt høy vannføring gjennom året. Vannstanden på elva vil variere avhengig av temperatur- og værforhold. Det er ikke registrert noen flomhendelser slik nevnt i kapittel 7.4. Fundamentet må forventes å være under vann deler av året.

8.3 Brufundament sør

8.3.1 Geometri, generell informasjon

Figur 8.3-1 viser skisse av geometrien for det nordre brufundamentet. Mindre endringer kan komme.

Planlagt høydekote for fundament er 236.



Figur 8.3-1: Skisse og geometri av søndre brufundament med nytt landkar.

8.3.2 Berggrunn og løsmasser

Under befarings ble det observert en overgang mellom grønskifer i sør og fyllitt i nord. Dette skillet lå omtrent i elva. Det søndre brufundamentet ligger i grønskiferen. Det var lite innslag av fyllitt på sørsiden av brua sammenlignet med nordsiden. Berget på sørsiden hadde imidlertid et sterkere blokkpreg.

8.3.3 Hydrologiske og hydrogeologiske forhold

For grundigere beskrivelse av de hydrologiske forholdene, se NOT-HYD-KVE-01 "Flomanalyse notat Kvernbrua". Se ellers kapittel 7.5 om de hydrogeologiske forholdene ved skjæringen, som også er beskrivende for de hydrogeologiske forholdene for bergfundamentene.

Kvernbrua krysser elva Inna som har relativt høy vannføring gjennom året. Vannstanden på elva vil variere avhengig av temperatur- og værforhold. Det er ikke registrert noen flomhendelser slik nevnt i kapittel 7.4. Fundamentet må forventes å være under vann deler av året.

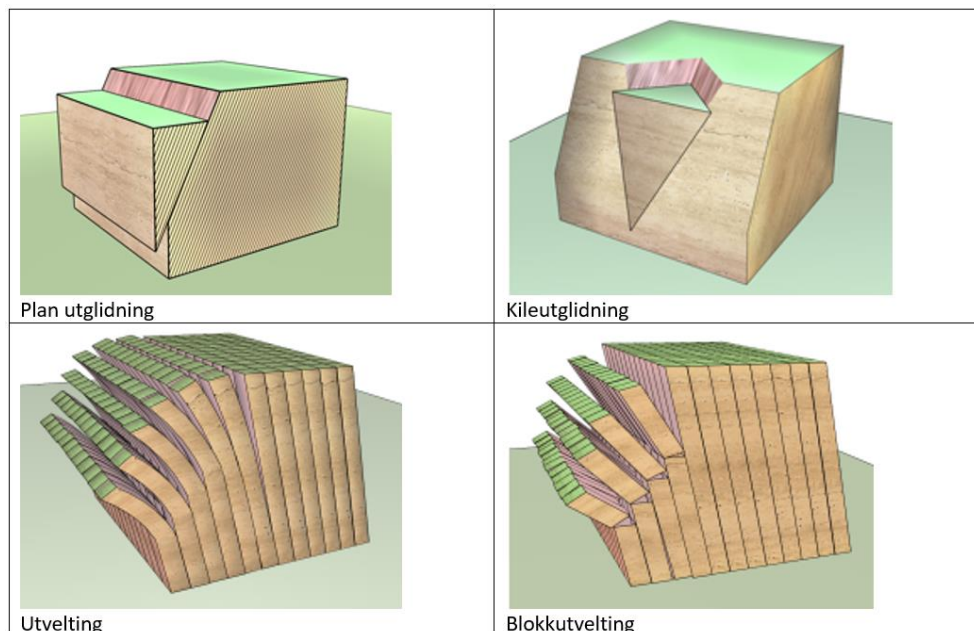
TOLKNINGSDEL

9. Løsnemekanismer

9.1 Tolkning av løsnemekanismer

For å vurdere stabilitet til bergskjæringer, er det utført kinematiske analyser basert på felldata fra nærliggende befaringslokaliteter.

Det er utført kinematiske analyser med dataprogrammet DIPS v8.0. Detaljerte resultater fra de kinematiske analysene er gitt i vedlegg 3. En kort oppsummering gis for hver enkelt bergskjæring og brufundament. DIPS gir resultater for plan utglidning (planar sliding), ubegrenset plan utglidning (planar sliding (no limits)), kileutglidning (wedge sliding), utvelting (flexural toppling) og blokkutvelting (direct toppling), se Figur 9.1-1. Det brukes norske begreper i denne rapporten, mens resultatene i vedlegg 3 står på engelsk.



Figur 9.1-1: Løsnemekanismer brukt i DIPS analyser, illustrasjoner hentet fra [24].

DIPS angir ikke en sannsynlighet for utfall direkte, men angir i prosent hvor mange av de innmålte sprekkeene som kan forårsake en gitt løsnemekanisme. Det er gjort en forenkling i tabellene som viser de enkelte løsnemekanismene for hver skjæring. Tallverdier finnes i vedlegget. 1 til 15 % beskrives som lite fremtredende, fra 15 til 40 % beskrives som middels fremtredende og fra 40 til 100 % beskrives som sterkt fremtredende. Det er i tillegg gjort en vurdering av stabiliteten mht. feltresultater og visuelle observasjoner i stereoplott.

De kinematiske analysene er utført med representative skjæringsorienteringer og med skjæringshelning på 84° (10:1). Det er benyttet en friksjonsvinkel på 30° og sideavgrensning på 20° . For plan utglidning er det oppgitt mulighet for både begrenset (20° sideavgrensning) og ubegrenset plan utglidning. Ubegrenset utglidning er tatt med for å synliggjøre om plan utglidning kan bli

aktuelt om forhold som sprekke- eller skjæringsorientering endrer seg betydelig langs skjæringen.

Sprekkesett som vises i polplott, og som er brukt i de kinematiske analysene, er definert ut fra feltobservasjoner. Sprekkesettene angis med strøk og fall for senterpol. Alle innmålte sprekker er tatt med i den kinematiske analysen.

Ettersom det er usikkerhet i representativiteten til feltdataene både lokalt og mot dypet er det naturligvis også usikkerhet i analyseresultatene og deres representativitet for skjæringene og stabilitetsutfordringene de belyser. Der for eksempel hvor en skjæring går langs en kurve vil det være tatt ut en omtrentlig skjæringsorientering til den kinematiske analysen. Dette har også betydning for hvor representative analyseresultatene er.

Endelig vurdering av detalj- og totalstabilitet må gjøres i felt etter at berget er avdekket og skjæringene er etablert. Analysene i denne rapporten gir en indikasjon på hvilke skjæringer som kan være krevende å utforme og sikre. I forbindelse med evt. kinematiske analyser i videre faser av prosjektet bør for eksempel friksjonsvinkel vurderes for hver enkelt analyse. Dette gjelder spesielt der det er registrert lave J_r - og/eller høye J_a -verdier på befaringslokaliteter.

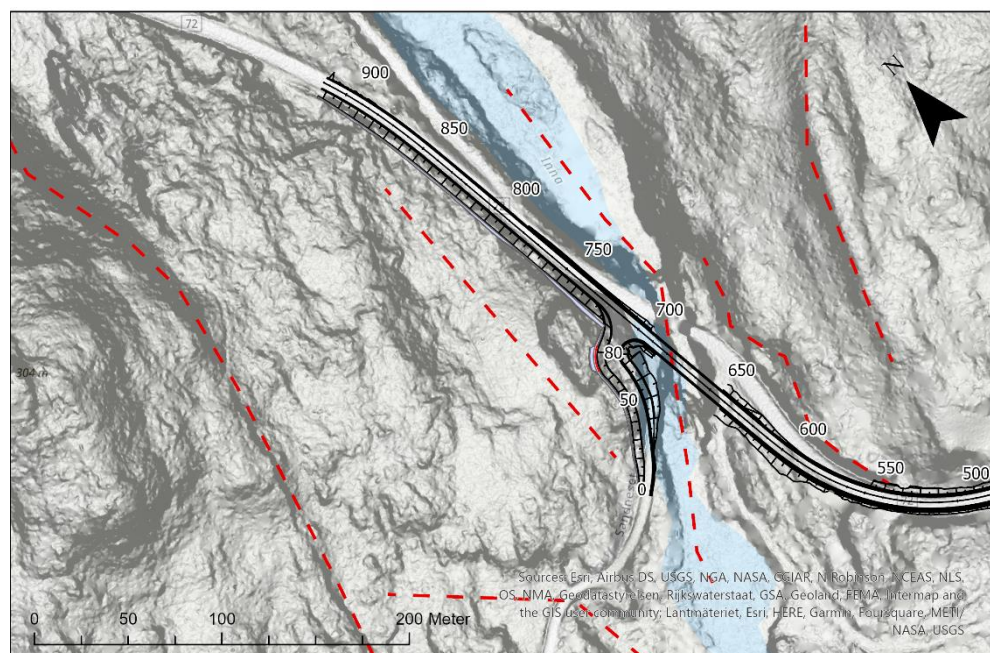
10. Bergskjæring

10.1 Skjæring B01 og B02

10.1.1 Tolkning av lineamenter/svakhetssoner

Lineamentene er tolket fra forsøkninger i terrenget. Disse er ofte tegn på en svakhetssone i grunnen. Ett av lineamentene ser ut til å krysse bergskjæringen lengst nord og lengst sør. Det er ikke forventet at lineamentet vil gi ytterligere utfordringer siden det tolkede lineamentet kun krysser bergskjæringen på de laveste stedene.

— Lineamenter Bergskjæring Geoteknisk kategori 3



Figur 10.1-1: Oversiktskart med lineamenter.

10.1.2 Tolkning av sprekkesett og stabilitet

For skjæring B01 og B02 er det utført kinematisk analyse basert på data fra befæringslokalitetene B01 og B02. Det er gjort DIPS-analyse av tre retninger på skjæringen med østlig, sør-østlig og sørlig fallretning. Det er gjort flere DIPS-analyser med andre fallretninger enn det som er angitt i tabellen, og det kommer fram at framtredden av de ulike løsnemekanismene varierer også ved små endringer i fallretning på bergskjæringen. Dette skyldes at det er stor spredning i sprekke data grunnet svært foliert og delvis knust berg. Framtredden av de ulike løsnemekanismene kan derfor være større og mindre enn det som er angitt i tabellene. Sprekkemålinger fra disse befæringslokalitetene er vist i Figur 10.1-2 og en oppsummering av aktuelle løsnemekanismene i den kinematiske analysen kan sees i Tabell 10.1-1, Tabell 10.1-2 og Tabell 10.1-3.

Tabell 10.1-1: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B01 og B02 for delen av skjæringen som faller i østlig retning. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

B01 og B02	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring Fall mot øst (90)	Sterkt	Sterkt	Sterkt	Sterkt	Lite B: S3 - S1, S2
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])					

Tabell 10.1-2: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B01 og B02 for delen av skjæringen som faller i sørøstlig retning. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

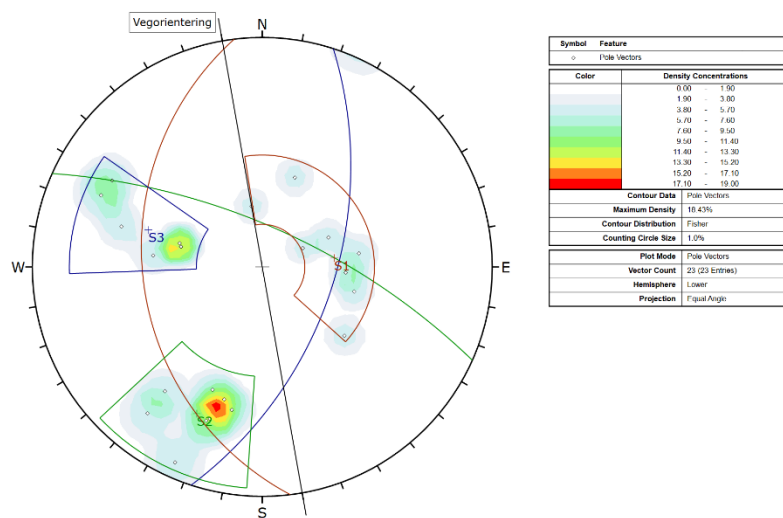
B01 og B02	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring Fall mot sør- øst (125)	Sterkt	Sterkt	Sterkt	Middels	Sterkt B: S3 - S1, S2
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])					

Tabell 10.1-3: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B01 og B02 for delen av skjæringen som faller i sørlig retning. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

B01 og B02	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring Fall mot sør (155)	Lite	Sterkt	Sterkt		Lite B: S1 - S2, S3
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])					

Av den kinematiske analysen kommer det fram at plan utglidning fra foliasjonen er mulig for den første og andre delen av skjæringen. I alle deler av skjæringen er det mulig med kileutglidninger. Dette gjelder spesielt mellom sprekker i plan S2 og S3, men også fra S3 og S1 (foliasjonen).

Det er mulig med utvelting fra foliasjonen. Det er størst framtredden av denne løsnemekanismen i første del av skjæringen, og avtar for andre del, og ingen framtredden av utvelting i den tredje delen. Blokkutvelting er særlig framtreddende for den andre delen av skjæringen, som også er den høyeste.



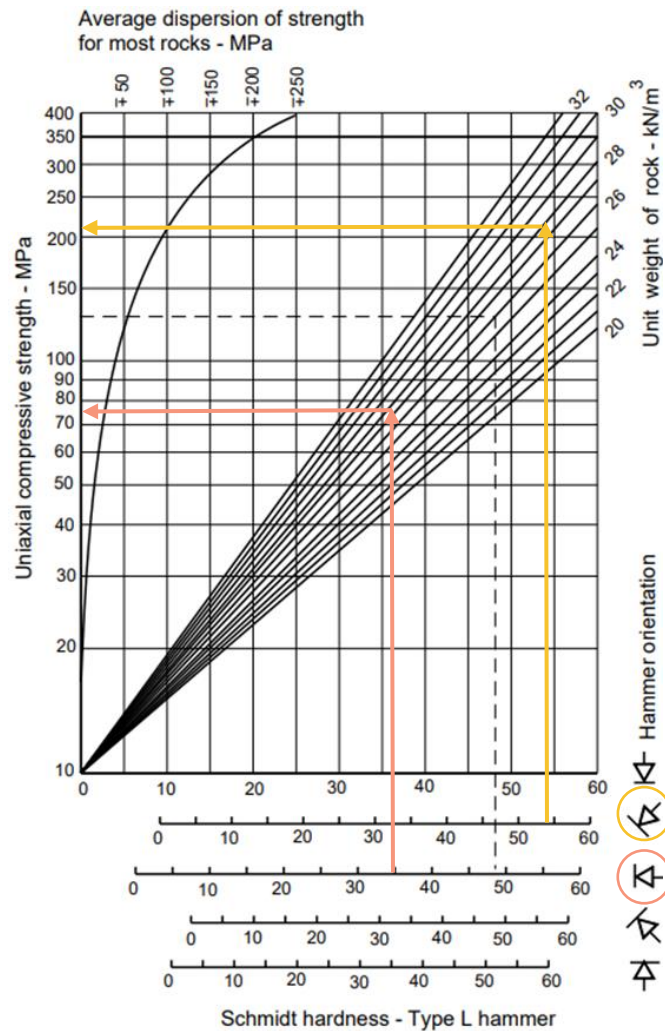
Figur 10.1-2: Polplott med sprekke målinger og sprekkesett-tolkning ved befaringslokalitet B01 og B02.

10.1.3 Hydrologiske og hydrogeologiske forhold

I kapittel 7.5 ble de hydrogeologiske forholdene beskrevet. Det er ikke forventet problematikk med grunnvannsstand eller is skjøving. Berget var tørt under befaring, og de var ingenting som tydet på det var vannførende sprekker i området rundt bergskjæringen. Bergskjæringen tas ut i en kolle med lavt løsmassedekke, noe som gir oversiktlige hydrologiske forhold mtp. avrenning. Overflateavrenning vil uansett inntreffe og det vil være behov for etablering av grøfter for å drenere vannet. Ingen spesielle hensyn må tas, og bygging av veg etter N200 sikrer at det blir etablert grøft ved bergskjæringen. Se også tverrsnittet i vedlegg 2 for skisse av grøft.

11. Brufundamenter Kvernbrua

11.1 Resultater Schmidt målinger

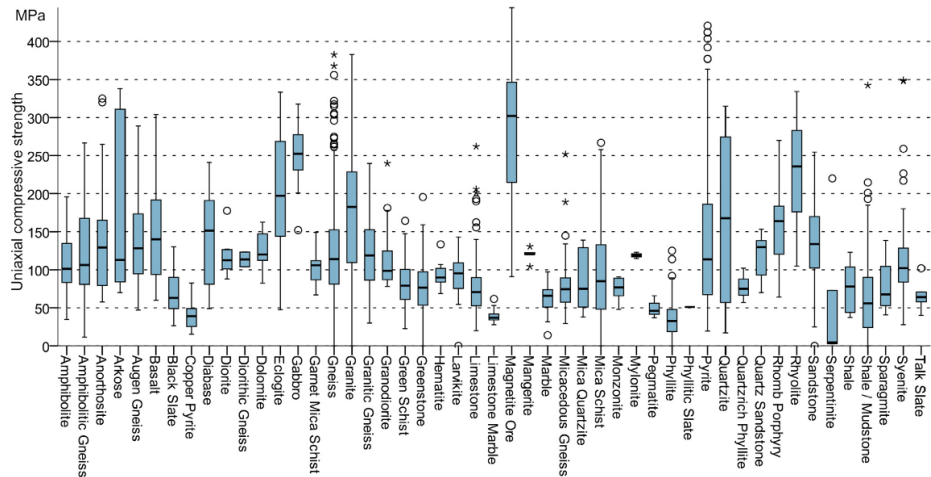


Figur 11.1-1, plott av en-aksiell kompresjonsstyrke i forhold til måleresultater med Schmidt-hammer og bergets egenvekt. [25]. For lokalitet B03 var den gjennomsnittlige schmidt-verdien lik 54,3 for sprekkeseett S1 og 35,0 for sprekkeseett S2. Det gir en UCS-verdi på henholdsvis 220 og 75 MPa.

Avlesning av grafen gir aksiell trykkfasthet (UCS) for lokalitet B03 på henholdsvis mellom 75 og 220 MPa for grønskiferen.

Erfaringstall fra SINTEF sitert i Høien m.fl. (2019) gir at norsk grønskifer generelt er målt til å ha en UCS på 60-100 MPa og fyllitt UCS på 25-50 MPa, se Figur 11.1-2. Feltobservasjoner og vurdering med hammerslag ved lokalitet B03 ga UCS-verdi på 25-50 MPa. UCS for grønskiferen øst for brua blir satt til det øvre sjiktet av feltobservasjoner da dette samsvarer best med kjente verdier av grønskifer. Grønskiferen øst blir derfor satt til 50 MPa.

Fylltitten vest for brua ble vurdert til en UCS-verdi på 25-50 MPa ved visuell observasjon og hammerslag. Det ble ikke utført schmidt-hammermålinger ved lokalitet B01 og B02. I Figur 11.1-2 er UCS-verdien for fyllitt typisk mellom 25-50 MPa. Det finnes ikke grunnlag for å sette en høy verdi for fylltitten. UCS-verdi for fylltitten vest for brua blir derfor satt til 25 MPa.



Figur 11.1-2: Typiske verdier av trykkfasthet for norske bergarter. Reproduisert fra SINTEF [26].

11.2 Tolkning av sprekkesett og stabilitet

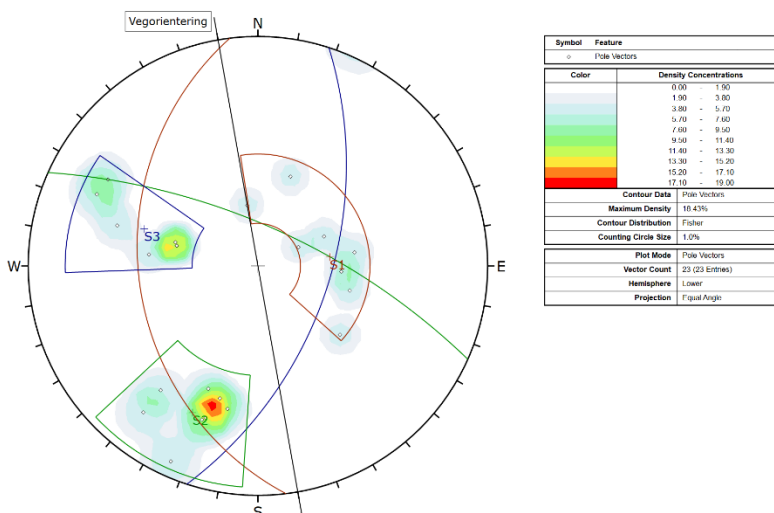
Det er gjort to kinematiske analyser for hver av brufundamentene, en analyse for bergflata som ligger vinkelrett på veglinja, bak det nye landkaret (kalt "bakkant byggegrop" eller "bakberget"), og en analyse for bergflata som ligger nærmest eksisterende landkar, parallelt med brua (kalt "side mot eksisterende landkar" eller "sideberget"). Normalt er det mest interessant å se på bakkant byggegrop i den kinematiske analysen, men siden ny byggegrop ligger nært eksisterende landkar er det gjort en analyse også av denne bergflata. Etablering av byggegrop så nært eksisterende landkar har betydning for stabiliteten. Det vil være trafikk over eksisterende bru i byggefasen, derfor er det viktig å ta hensyn også til sideberget. Det er nyttig å være klar over at det kan oppstå ulike stabilitetsutfordringer på to bergvegger på samme sted, men vinkelrett på hverandre.

11.2.1 Brufundament nord

For skjæring B01 og B02 er det utført kinematisk analyse basert på data fra befæringslokalitetene B01 og B02. Sprekkemålinger fra disse befæringslokalitetene er vist i Figur 11.2-1 og en oppsummering av aktuelle løsnemekanismene i den kinematiske analysen kan sees i Tabell 11.2-1 og Tabell 11.2-2.

Ut fra tabellene og tolkning fra figurene i vedlegg 3 kommer det fram at det vil være mulig med kileutglidning og blokkutfall særlig fra sideberget, men også bakberget. For bakberget er det registrert en stor mulighet for ubegrenset plan

utglidning. Denne form for utglidning fortsetter at berget ikke er innspent på sidene. Dermed er ikke denne løsnemekanismen aktuell for bakberget. For sideberget er det mulig å få plan utglidning fra foliasjonen (sprekkesett S1). S1 er også baseplan for en eventuell blokkutvelting. Det er altså mulig at blokker velter ut og at de glir ut. Særlig gjelder dette for sideberget, men også bakberget. Siden sideberget ligger såpass nært eksisterende landkar bør det dette området vises spesiell oppmerksomhet og under byggefase.



Figur 11.2-1: Polplott med sprekkemålinger og sprekkesett-tolkning ved befaringslokalitet B01 og B02.

Tabell 11.2-1: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B01 og B02. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

B01 og B02	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Nordre brufundament (Bakkant byggegrop)	Lite	Sterkt	Middels		Lite B: S1 - S2, S3
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])					

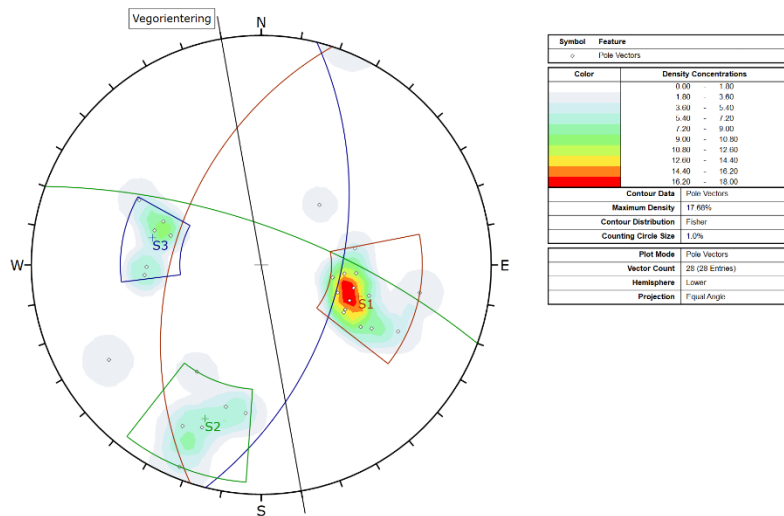
Tabell 11.2-2: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B01 og B02. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

B01 og B02	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Nordre brufundament (Side mot eksisterende landkar)	Sterkt	Sterkt	Sterkt	Lite	Sterkt B: S1 - S2, S3
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])					

11.2.2 Brufundament sør

For skjæring B03 er det utført kinematisk analyse basert på data fra befaringslokalitet B03. Sprekkemålinger fra denne befaringslokaliteten er vist i Figur 11.2-2 og en oppsummering av aktuelle løsnemekanismene i den kinematiske analysen kan sees i Tabell 11.2-3 og Tabell 11.2-4.

Ut fra tabellene og tolkning fra figurene i vedlegg 3 kommer det fram at det vil være mulig med plan utglidning for både bakberget og sideberget. For bakberget er det sprekkesett S2 som er framtredende, mens for sideberget er S1 framtredende. Det er registrert av sprekkesett som kan gi ubegrenset plan utglidning. Dette er imidlertid mest interessant hvor et sideberg ikke støtter opp berget, og er ikke aktuelt for byggegropa. Samtidig kan man se blokker/flak fra sprekkesett S1 som kan rase ut (Figur 6.4-3). Det er mulig å få kileutglidning mellom sprekkesett S1 og S2 for både bakberget og sideberget. For bakberget er det ikke fare for utvelting, men for sideberget er dette mulig med de sprekkesettene som er målt. For blokkutfall er det mulig, men ikke særlig framtredende at det kan skje i bakberget. For sideberget er det vist en større mulighet for å få blokkutfall.



Figur 11.2-2: Polplott med sprekemålinger og sprekkesett-tolkning ved befaringslokalitet B03.

Tabell 11.2-3: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B03. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

Side	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Søndre brufundament (Bakkant byggegrop)	Middels	Sterkt	Sterkt		Lite B: S2 - S1, S3

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
 Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett (B) + to sprekkesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])

Tabell 11.2-4: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet B03. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekesett det gjelder.

Side	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Søndre brufundament (Side mot eksisterende landkar)	Middels	Sterkt	Sterkt	Middels	Sterkt

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
 Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekesett kan gi løsnemekanisme
 Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekesett kan gi løsnemekanisme
 Sterkt = sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekesett kan gi løsnemekanisme
 S = sprekesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekesett (B) + to sprekesett som skjærer hverandre [B: SX - SY, SZ])

11.3 Beregning av bæreevne

11.3.1 Eurokode 7 Tillegg G

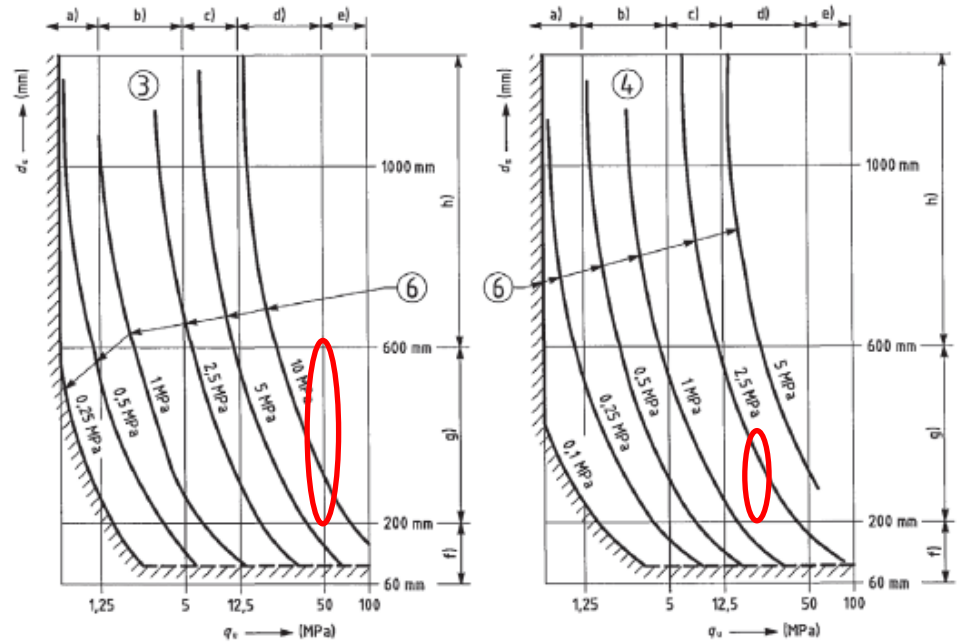
Det er foretatt en beregning av tillatt såletrykk etter tillegg G i NS-EN 1997-1:2004 [27].

Grønnskiferen sør for brua vil være i berggruppe 3, se Tabell 11.3-1. Sprekkeavstand er observert til 200 mm – 600 mm og enaksiell trykkfasthet er vurdert til 50 MPa, se kap. 11.1. Tillatt såletrykk sees i Figur 11.3-1.

Fyllitten nord for brua vil være i berggruppe 4, se Tabell 11.3-1. Sprekkeavstand er observert 200 mm – 400 mm og enaksiell trykkfasthet er vurdert til 25 MPa, se kap. 11.1. Tillatt såletrykk sees i Figur 11.3-1.

Tabell 11.3-1: Gruppering av svakt og oppsprukket berg. Tabell G1 fra [25].

Gruppe	Type berg
1	Ren kalkstein og dolomitt Karbonatsandstein med lav porøsitet
2	Størkningsbergarter Oolittisk og mergelholdig sandstein Velsementert sandstein Herdnet karbonat-leirstein Metamorfe bergarter, inklusive skifer (flattliggende kløyv/ foliasjon)
3	Sterkt mergelholdig kalkstein Svakt sementert sandstein Skifer (steiltstående kløyv/ foliasjon)
4	Usementert leirstein og leirskifer



Figur 11.3-1, Antatt såletrykk for kvadratiske fundament på berg (for setninger som ikke overskrider 0,5 % av fundamentenes bredde, se [27]). Rød ellipse markerer antatt tillatt såletrykk for grønskifer.

Grønskiferen sør for brua klassifiseres som berggruppe 3 etter Tabell 11.3-1 og antatt bæreevne blir beregnet fra diagrammet til venstre i Figur 11.3-1. Med observert sprekkeavstand på 200-600 mm og UCS på 50 MPa blir bæreevnen satt til 10 MPa for det søndre brufundamentet.

Fyllitten nord for brua klassifiseres som berggruppe 4 etter Tabell 11.3-1 og antatt bæreevne blir beregnet fra diagrammet til høyre i Figur 11.3-1. Med observert sprekkeavstand på 200-400 mm og UCS på 25 MPa blir bæreevnen satt til 1 MPa for det nordre brufundamentet.

11.3.2 Analyse med RSData

For lokalitet B01:

UCS for B01 er satt i kapittel 11.1. Mi er satt til normal verdi for bergarten. GSI er bestemt ut fra feltobservasjoner. Faktoren for spenningsforstyrrelser er satt til 0,5 da det er forventet noe rissdannelse eller tilsvarende ifm. sprengning av såle til brufundament. Den globale trykkfastheten for lokalitet B01 (nordre brufundament) er gitt i Tabell 11.3-2.

Tabell 11.3-2: Trykkfasthet beregnet ut fra RSData for det nordre brufundamentet.

B01	Parameter	Enhet	Verdi
Inndata	Enaksial trykkfasthet av bergmassen (UCS)	MPa	25
	Hoek-Brown styrkeparameter mi	-	7
	GSI, "Geological Strength Index"	-	40
	Faktor for sprengningsforstyrrelse, D	-	0,5
	Kohesjon	MPa	0,7
	Friksjonsvinkel	°	19,4
Utdata	Strekkestyrke i berggrunnen, T ₀	MPa	0,02
	Enaksial trykkfasthet, q	MPa	0,4
	Global trykkfasthet, σ_{cm}	MPa	2,0

For lokalitet B03:

UCS for B03 er satt i kapittel 11.1. Mi er satt til normal verdi for bergarten. GSI er bestemt ut fra feltobservasjoner. Faktoren for spenningsforstyrrelser er satt til 0,5 da det er forventet noe rissdannelser eller tilsvarende ifm. sprengning av såle til brufundament. Den globale trykkfastheten for lokalitet B03 (søndre brufundament) er gitt i Tabell 11.3-3.

Tabell 11.3-3: Trykkfasthet beregnet ut fra RSData for det søndre brufundamentet.

B03	Parameter	Enhet	Verdi
Inndata	Enaksial trykkfasthet av bergmassen (UCS)	MPa	50
	Hoek-Brown styrkeparameter mi	-	7
	GSI, "Geological Strength Index"	-	65
	Faktor for sprengningsforstyrrelse, D	-	0.5
	Kohesjon	MPa	2,5
	Friksjonsvinkel	°	28,4
Utdata	Strekkestyrke i berggrunnen, T ₀	MPa	0,4
	Enaksial trykkfasthet, q	MPa	4,8
	Global trykkfasthet, σ_{cm}	MPa	8,4

11.3.3 Oppsummering bæreevne

Resultatene for antatt bæreevne (dimensjonerende verdier) fra de 2 metodene er oppsummert i Tabell 11.3-4.

Tabell 11.3-4, Oppsummering av tillatt bæreevne (grunntrykk).

<i>Metode</i>	<i>Antatt bæreevne for grønskifer (B03)</i>	<i>Antatt bæreevne for fyllitt (B01)</i>
EN-NS 1997-1: 2004 Eurokode 7	10 MPa	1 MPa
RSDData	8,4 MPa	2,0 MPa

I veiledning til Eurokode 7 [10] opplyses det at vanlig praksis er at tillatt bæreevne for fundamentering på berg ikke overstiger 10 MPa, uansett bergartstype og oppsprekking.

Bæreevne for fundamentene på Kvernbrua settes derfor til 8,4 MPa for det østlige brufundamentet og 1,0 MPa for det vestlige brufundamentet.

Bæreevnen er beregnet konservativt i forhold til datagrunnlaget som finnes. Hvis det er nødvendig med høyere bæreevne kan det gjøres grunnundersøkelser for å finne ut om berget har bedre bæreevne enn det som er satt i denne rapporten.

12. Sikringsbehov

For tolkning av sikringsbehov er håndbok nr. 11 Bergbolting [28] brukt. Som en veileder til å velge boltesikring bruker håndboken Q-verdi. Den er definert slik:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

der

RQD = Oppsprekkingsfaktor (Rock Quality Designation)

J_n = Tall for sprekkeseett

J_r = Sprekkeruhetstall

J_a = Tall for sprekkefylling

J_w = Sprekkevannstall

SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor)

Fastsetting av disse verdiene ble gjort ved NGIs håndbok til Q-systemet [29] og kartlegging under befaring (se kapittel 6). Tabell 11.3-1 og Tabell 11.3-2 gjengir parameterne for Q-verdi tolket ut fra data fra befaringslokalitetene B01 og B03.

For bergskjæringen og det nordre brufundamentet (tilhørende befaringslokalitet B01) får vi følgende Q-verdi:

Tabell 11.3-1: Q-verdi for bergskjæringen og det nordre brufundamentet.

	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF
Verdier i Q-systemet	50-75	9	1,5	1	1,0	2,5
Q- verdi:				3-5		

For det søndre brufundamentet (tilhørende befaringslokalitet B03) får vi følgende Q-verdi:

Tabell 11.3-2: Q-verdi for det søndre brufundamentet.

	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF
Verdier i Q-systemet	75-90	9	1,5	1	1,0	2,5
Q- verdi:				5-6		

12.1 Tolkning av sikringsbehov

12.1.1 Bergskjæring

For skjæringer i berg er normale sikringsmetoder rensk, bolting, nett og sprøytebetong. Skjæringen skal sikres slik at det ikke forekommer nedfall av stein og is på vegbanen. Maskinell rensk må utføres uten å rive opp fjellet unødig, da dette kan øke sikringsomfanget.

Den beregnede Q-verdien for bergskjæringen er i Tabell 11.3-1 beregnet til å være 3-5. Dette er klassifisert som moderat til tett oppsprukket berg i håndbok 11 for bergbolting [28]. Berget framsto som svært foliert og delvis knust. Den kinematiske analysen indikerte sterk framtredden av kileutglidning fra hele skjæringen og i tillegg mulighet for blokkutfall for den høyeste delen av skjæringen. Dette gir behov for systematisk bolting, og det kan bli behov for sprøytebetong eller nett i området hvor skjæringen er høyest. Det bør vises spesiell oppmerksomhet til eventuelle blokker som ligger i den høyeste delen av skjæringen. Eventuelle nøkkelblokker kan sikres i tillegg til den systematiske boltingen.

Det kan vurderes nett (fastboltet i nedkant for at det ikke skal havne i grøfta). I skjæringer bør det benyttes sprøytebetong av typen B35 og E1000. Sprøytebetong må dreneres. Sikring av skråning over skjæringstopp: Løsmasser og vegetasjon skal fjernes til minimum 2,0 meter utenfor prosjektert skjæringstopp. For å unngå erosjon og utrasing bør det utformes en stabil skråningskant.

Ved lokalvegens påkobling til hovedvegen går skjæringen i en knekk som er omtrent vinkelrett. Denne bør vises særlig oppmerksomhet under utførelse, og nøkkelblokker bør alltid sikres.

Under byggefase må bergmassekvaliteten vurderes på nytt ved uttak av berg. Om berget er mer oppsprukket enn antatt kan det bli behov for annen utforming av skjæringen med lavere helning.

Forventet mengde bergsikring er angitt i Tabell 12.1-1. Det er tatt utgangspunkt i cc-avstand på 1 meter på forbolter og én bolt per 12 m² for permanent sikring hvor skjæringshøyden er over 5 meter, og 20 m² for permanent sikring hvor skjæringshøyden er under 5 meter. Alle arealer og lengder er målt i Novapoint og kan ses i Tabell 7.1-1 i kapittel 7.1.

Tabell 12.1-1: Overslag forventede mengder bergsikring.

Bergsikring	Enhet	Antall
Innstøpte bolter (forbolting)	stk	15
Kombinasjonsbolter til skjæringshøyde under 5 meter	stk	20
Kombinasjonsbolter til skjæringshøyde over 5 meter	stk	100
Sprøytebetong	m ³ (antall biler)	16 (2)

Det anbefales å forbolte den høyeste delen av skjæringen, da det er sterk framturen av plan utglidning og kileutglidning, samt blokkutfall slik som beskrevet i kapittel 10.1.2. Det anbefales videre å bruke kombinasjonsbolter for øyeblikkelig og permanent sikring av skjæring. Hvis berget har dårligere kvalitet enn forventet kan det bli behov for sprøytebetong på deler av skjæringen.

12.1.2 Brufundamenter

Det vil være behov for god maskinell rensk av sålen til brufundamentene. Landkarene skal sikres til berget, og det er nødvendig at landkarets forankring til berg er solid. Landkar som ikke er godt fundamentert til berg vil kunne slites av isflak som sprenger under en eventuell vårflom.

Maskinell rensk må utføres uten å rive opp fjellet unødige, da dette kan øke sikringsomfanget. Spesifikke sikringsbehov og mengdeestimer er gitt i kapittel 12.1.3 og kapittel 12.1.4.

12.1.3 Brufundament nord

Den beregnede Q-verdien for det nordre brufundamentet er i Tabell 11.3-1 beregnet til å være 3-5. Dette er klassifisert som moderat til tett oppsprukket berg i håndbok 11 for bergbolting [28]. Dette gir behov for spredt eller systematisk bolting. Det anbefales kombinasjonsbolter for permanent sikring. Disse gir både øyeblikkelig og permanent sikring. Boltetype og -lengde må vurderes etter åpning av berget, men normalt kan bolter med lengde 3-6 meter brukes. Det nordre brufundamentet ligger nær lokalveg (bakberg) og nær eksisterende landkar (sideberg). Det er derfor særlig viktig med umiddelbar sikring både mot sideberg og bakberg. I kapittel 11.2.1 kommer det fram at det er særlig fare for både blokkutfall, plan utglidning og kileutglidning i sideberget, og fare for blokkutfall og kileutglidning i bakberget. Konsekvensen av en utglidning i sideberget og dermed risikoen for at stabiliteten til det eksisterende brufundamentet kan avta, er såpass stor at sikring av sideberg må utvises spesiell oppmerksomhet. Sømboring og forbolting i sideberget og bakberget anbefales sterkt for å hindre bakbryting av berget.

Tabell 12.1-2: Overslag forventede mengder bergsikring.

Bergsikring	Enhet	Antall
Sømboring byggegrop	meter	340
Forbolter mot elva	stk	11
Forbolter byggegrop	stk	29
Kombinasjonsbolter (permanent sikring sideberg og bakberg)	stk	12

Forventet mengde bergsikring er angitt i Tabell 12.1-2. Det er tatt utgangspunkt i cc-avstand på 1 meter på forbolter og én bolt per 9 m² for permanent sikring av bergvegg. Sålen til brufundamentet er målt til å være omtrent 100 m². Bakberget er målt til å være omtrent 50 m². Sideberget mot eksisterende bru er målt til å være omtrent 7 m². Sideberget lengst fra eksisterende bru er målt til å være omtrent 44 m². I plan skal i underkant av 30 meter sømbores. Gjennomsnittlig boreddybde er ca. 3,4 meter. For beregning av antall meter med sømboring legges til grunn en cc-avstand på 30 cm. Alle arealer og lengder er målt i Novapoint. For sikring av bunn byggegrop må det ved et senere tidspunkt, f.eks. byggefase avgjøres om det vil være mest hensiktsmessig å forbolte, eller å sikre etter sprengning.

12.1.4 Brufundament sør

Den beregnede Q-verdien for det søndre brufundamentet er i Tabell 11.3-2 beregnet til å være 5-6. Dette er klassifisert som moderat oppsprukket berg i håndbok 11 for bergbolting [28]. Dette gir behov for spredt bolting, men det anbefales systematisk bolting på grunn av konsekvensen ved et evt. utfall av berg. Det anbefales bruk av kombinasjonsbolter, da disse kan brukes som umiddelbar sikring, samt inngå i den permanente sikringen. Boltetype og -lengde må vurderes etter åpning av berget, men normalt kan bolter med lengde 3-6 meter brukes. I kapittel 11.2.2 kommer det fram at det er fare for plan utglidning og kileutglidning både i bakberget og sideberget. I tillegg er det fare for blokkutvelting særlig i sideberget. Spesielt plan utglidning anses som mulig. På sørsiden av elva er det tydelige blokker som ligger nærmest som en kortstokk oppå hverandre. Disse kan ses i Figur 13.4-1. Det er viktig at disse spennes fast før etablering av fundament. Sømboring og forbolting i sideberget og bakberget anbefales for å hindre bakbryting av berget.

Tabell 12.1-3: Overslag forventede mengder bergsikring.

<i>Bergsikring</i>	<i>Enhet</i>	<i>Antall</i>
Sømboring byggegrop	meter	459
Forbolter mot elva	stk	11
Forbolter byggegrop	stk	32
Kombinasjonsbolter (permanent sikring sideberg og bakberg)	stk	16

Forventet mengde bergsikring er angitt i Tabell 12.1-3. Det er tatt utgangspunkt i cc-avstand på 1 meter på forbolter og én bolt per 9 m² for permanent sikring av bergvegg. Sålen til brufundamentet er målt til å være omtrent 105 m². Bakberget er målt til å være omtrent 60 m². Sideberget mot eksisterende bru er målt til å være omtrent 52 m². Sideberget lengst fra eksisterende bru er målt til å være omtrent 27 m². I plan skal omtrent 32 meter sømbøres. Gjennomsnittlig boreddybde er ca. 4,3 meter. For beregning av antall meter med sømboring legges til grunn en cc-avstand på 30 cm. Alle arealer og lengder er målt i Novapoint. For sikring av bunn av byggegrop må det ved et senere tidspunkt, f.eks. byggefase avgjøres om det vil være mest hensiktsmessig å forbolte, eller å sikre etter sprengning.

13. Boring og sprengning

13.1 Berguttak og utforming av tverrprofil

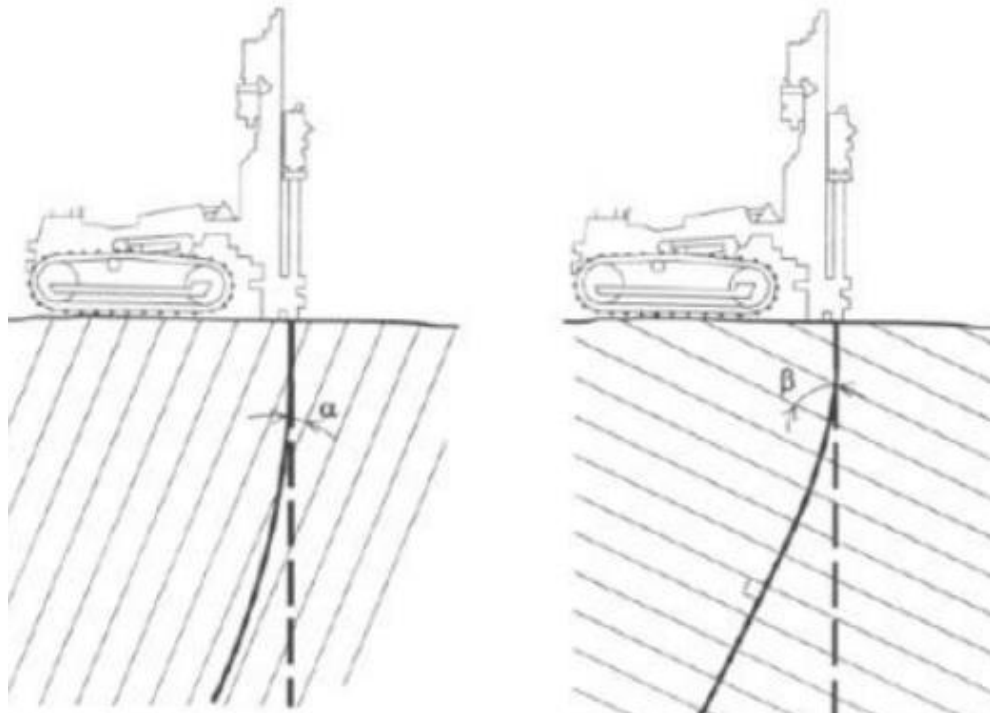
I planprosessen kan veglinja legges opp slik at skjæringshøyden blir lavest mulig. Bergskjæringen ved Kvernbrua ligger i overgangen mellom lokalveg og fylkesveg, noe som reduserer muligheten noe for å optimalisere veglinja mtp. bergskjæring. Valg av veglinje veies mot flere hensyn, bl.a. kurvatur, tilstøtende veg, massebalanse etc. Store deler av bergskjæringen vil være i geoteknisk kategori 2, og kan sprenges ut med helning på 10:1. Deler av skjæringen ligger i geoteknisk kategori 3 mtp. høyde over 10 meter. Her kan høyden på skjæringen reduseres ved etablering av permanente hyller (paller). Pallehøyden bør ikke overstige 10 meter. Før etablering av paller vil det være behov for forbolting for å sikre berget mot utglidninger. Ved svært oppsprukket berg bør helningen på skjæringen justeres slik at det blir slakere helning.

For utforming av tverrprofil for bergskjæringen, se V102 i vedlegg 2.

For uttak av byggegrop for brufundament vil anbefales bruk av sømboring for å redusere påvirkning av sprengning på brukar. I tillegg anbefales det forsiktig uttak av berget i boregropa, inn mot sømmen vil det måtte pigges.

Se ellers V225 [3] for mer generell informasjon om berguttak.

13.2 Nøyaktig boring og borbarhet



Figur 13.2-1: Borestålet foretrekker enten å bore vinkelrett på foliasjon/ skifrihet eller parallelt med foliasjon/skifrihet [39].

Figur 13.2-1 illustrerer utfordringer ved boring i skifrige/folierte bergarter. Sannsynligheten for boreavvik øker med hullengde. Konsekvensen av boreavvik kan være at man får ujevn fordeling av ladning [3]. Erfaring tilsier at boring i fyllitt kan medføre boreavvik. Det er mest gunstig å bore vinkelrett på foliasjonen. Bergskjæringen ligger på nordsida av brua, som også er mest fyllittisk. Berget er i tillegg til dels svært oppsprukket, og det kan bli utrasninger som følge av dette under sprengningen. Fyllitt er en duktil bergart, og det kan være vanskelig å finne nødvendig lademengde på første forsøk. Dette gjelder både for bergskjæring og uttak av byggegrøp for det nordre brufundamentet. For det søndre brufundamentet er det forventet relativt mindre boreavvik grunnet bedre grunnforhold og forholdsvis grunn boreddybde.

13.3 Spesielle hensyn

Sprengning foregår nær eksisterende landkar. Se også avsnitt 13.4. Sprengning foregår nær eksisterende veg, der det er forventet at trafikk skal kunne åpnes kort tid etter sprengning, da det ikke finnes gode omkjøringsmuligheter.

13.4 Vibrasjoner

Veiledende grenseverdier for vibrasjoner fra bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk, NS 8141, har vært igjennom revisjoner. På tidspunktet for rapporten, er følgende versjoner gyldige:

- NS 8141-1:2022 [30]
- NS8141-3:2014 [31]
- NS8141-4:2021 [32]

I henhold til NS 8141-4 skal omkringliggende bygninger og andre konstruksjoner som kan tenkes å bli påvirket av grunnarbeidet besiktiges før og etter at arbeidet er utført. NS 8141-4:2021 anbefaler følgende avstand: 30-50 m for byggverk fundamentert på berg og 50-100 m for byggverk fundamentert på løsmasser.

Eksisterende bru, brukar og veg blir påvirket av sprengning. Det planlegges sprengning for både det nordre og søndre brukaret, samt for bergskjæringen nord for brua. Størsteparten av sprengningen ifm. bergskjæringen ligger i en avstand på ca. 30-50 meter fra det nordre brukaret, og dermed ivaretar anbefalingen fra NS8141-4:2021. Det må tas spesielle hensyn når det spreses til byggegrop for de nye brufundamentene. Avstanden mellom eksisterende brukar og nye byggegrop er på mellom 5-10 meter. Det må utvises særlig forsiktighet ved sprengning av byggegrop for fundamenter.



Figur 13.4-1: Avtrykk av ny bru i eksisterende terreng. På tidspunkt for denne rapporten arbeides det fremdeles med plassering av landkar, og følgelig plassering av byggegrop.

Det er ikke bestemt metode for uttak av byggegrøp, og følgelig er det ikke utarbeidet notat med grenseverdier for vibrasjoner. For beregning av grenseverdi for vibrasjoner er korteste avstand fra sprengningskilde til konstruksjon en parameter. Denne avstanden er gitt ved et slikt oversiktsbilde. Grenseverdi for vibrasjoner kan justeres når det er bestemt endelig plassering for nye landkar. Dette gjelder spesielt vibrasjoner på det eksisterende nordre brukaret knyttet til etablering av den nye nordre byggegrøpa.

Tabell 13.4-1: Grenseverdi for vibrasjoner på de to eksisterende landkarene.

<i>Eksisterende konstruksjon (sprengningssted)</i>	<i>Grenseverdi for vibrasjoner ved sprengning</i>	<i>Grenseverdi for vibrasjoner ved pigging av berg</i>
Brufundament sør (sprengning nord og sør)	102 mm/s	31 mm/s
Brufundament nord (sprengning sør)	102 mm/s	31 mm/s
Brufundament nord (sprengning nord)	124 mm/s	31 mm/s

Tabell 13.4-1 gjengir grenseverdien for vibrasjoner. Grenseverdiene er forholdsvis høye. Dette skyldes at brufundamentene står på fast berg, samt at brufundamentet klassifiseres som en "tung konstruksjon" med "armert betong" som svakeste del etter NS 8141-1:2022 [30]. Dette gjør at de fire første av seks faktorer settes til høyeste verdi etter standarden. Ved sprengning ved det nordre brufundamentet er grenseverdien noe høyere. Dette skyldes at sprengningen foregår nærmere enn 10 meter fra brufundamentet.

Nåværende avstand mellom sprengningskilde nord og eksisterende nordre landkar er satt til 5 meter. De andre avstandene er over 10 meter, og mindre forandringer av plassering av landkar vil ikke ha innvirkning på grenseverdien for brufundament sør og det nordre brufundamentet ved sprengning i sør.

14. Usikkerheter

Alle innmålinger har en viss usikkerhet og data presentert i denne rapporten vil derfor ikke kunne gjengi de eksakte forholdene for området rundt Kvernbrua. Spesielt nordsiden av brua, ved befaringslokalitet B01 og B02 var berget sterkt foliert, bølget og stedvis knust. Dette gir utslag på målinger som er gjort. Det er forsøkt å gjøre målinger på sprekkeflater som er representative. De blotningene som er befart, og som kan observeres på bilder trenger ikke å være representative for berg bak sprengt område.

Ved befaringslokalitet B01 og B02 ble det observert svært foliert til dels knust berg. Det er usikkert hvor mye av berget som er av slik karakter. Det er forventet at det er mer oppsprukket berg i dagfjellsonen slik som observert. Først ved uttak av berg vil det bli mulig å bestemme bergmassekvaliteten.

Tolkning av svakhetszone (forkastning) er utført basert på topografisk kart, relieffkart og vurdering i felt. Forløp mot dypet er ukjent. Se Figur 6.4-3 for bilde av denne forkastningen.

Det er ikke avdekket syredannende bergarter på nåværende tidspunkt. Hvis resultater fra miljøkartlegging avdekker syredannende bergarter vil dette kunne påvirke håndtering av avfall og anleggsfase.

Det har vært mange justeringer av veglinje og brufundament underveis i arbeidet, og ved ferdigstilling av denne rapporten er det fortsatt ikke avklart endelig plassering av landkar. Dette har innvirkning på beregning av grenseverdi.

15. Oppfølging i byggefasen

Anleggets dagsoner må følges opp av en ingeniørgeolog som vurderer endelig utforming av skjæringen og byggegrop til brufundamenter, dette gjelder også prosjektering av supplerende sikring av berg. Ifølge N400 skal brufundament på berg besiktiges før og etter sprengning/ pigging av ingeniørgeolog [33].

Prosjektet må ha tilstrekkelig bemanning med den nødvendige ingeniørgeologiske kompetanse ut fra forventede geologiske utfordringer. Vedkommende skal ha overordnet faglig ansvar for permanent sikring og sørge for at det utarbeides et kvalitetssikringssystem for geologisk kartlegging, sikring og dokumentasjon. Dokumentasjonen bør inneholde følgende:

- > Tegning eller skissering av geologiske forhold og geologiske data.
- > Fotografering av skjæring og byggegrop, særlig bakvegg og sidevegg. Dette bør gjøres etter vask, i samråd med byggherre/ entreprenør.
- > Kartlegging av berg for å bestemme omfang og metode for permanent sikring, registrere og dokumentere geologi og utført sikring iht. gjeldende krav.
- > Å følge opp vibrasjonskrav i forhold til sprengning nær eksisterende landkar.
- > Videre at det utarbeides en ingeniørgeologisk sluttrapport med angivelse av framtidig inspeksjonsbehov. Vedkommende skal også rapportere og begrunne eventuelle avvik i sikringsomfang og sikringsmetoder, i forhold til det som er forutsatt i konkurransegrunnlaget.

16. SHA og YM

Ved arbeid med rensk og sikring av skjæringer er det viktig å utvise aktsomhet og benytte maskiner og utstyr med tilstrekkelig rekkevidde slik at eventuelle nedfall ikke skader personer og utstyr. Bruk av forbolter må vurderes fortløpende og anvendes etter behov, da bakbrytning kan medføre store nedfall og føre til farlige situasjoner.

Det må tas hensyn til at noe av arbeidet foregår i høyden. Arbeid må dermed planlegges for å sikre personell for fall fra skjæringen, spesielt i den delen av skjæringen som ligger i geoteknisk kategori 3, samt fra byggepropa for brufundament. Det kan også komme nedfall av stein fra høyder under arbeid. Sikring kan gjøres for eksempel ved avsperring av områder nær kant, fjernstyring av borerigger mm. Det er også viktig å ha fokus på HMS ved sprengningsarbeider, spesielt med tanke på tildekking av salver, evakuering av personell og sikring av området.

Arbeidet vil foregå langs fylkesveg med regelmessig tungtrafikk. Det må utarbeides arbeidssikring ifm. arbeid langs veg. Byggepropa for brufundamenter vil tas ut i/ved elva. Det er stri strøm i elva, og personer som skal jobbe i nærheten av elv bør sikres. Det anbefales at deler av arbeidet, f.eks. inspeksjon gjøres ved fjernstyrte løsninger som f.eks. drone. Det er også en risiko for at maskinelt utstyr kan havne i elva.

Arbeidene vurderes å være gjennomførbare. Det er viktig at det utføres regelmessige sikker jobb analyser (SJA) i forbindelse med arbeidene med bergskjæringen og byggepropa.

Bergskjæringen tas ut i en kolle med myr på østsiden. Uttak av skjæring vil ikke påvirke denne myra, da den ikke ligger i dreneringsområdet for myra. Det forventes ingen problemer med grunnvannstand i dette prosjektet. Det er ikke tatt prøver for testing av syredannende berg. Det er på nordsiden av berget mye forvitret og rødt berg. Dette kan indikere omvandlet svovelkis som kan gi sur avrenning. Dette kan gi behov for særskilt deponering. Se ellers YM-rapporten "Miljøprogram Detaljregulering for Kvernbrua" [9].

Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Vegnormal N200 Vegbygging,» Vegdirektoratet, 2022.
- [2] Statens vegvesen, «N400 Bruprosjektering,» Vegdirektoratet, Oslo, 2022.
- [3] Statens vegvesen, «Bergskjæringer, Håndbok V225,» Vegdirektoratet, Oslo, 2020.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2008 (Eurokode 0),» 2008.
- [5] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 (Eurokode 7),» 2008.
- [6] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering. Versjon 1.,» Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011.
- [7] COWI, «Fv 72 Kvernbrua GU,» COWI, Oslo, 2023.
- [8] COWI, «Flomanalyse notat Kvernbrua,» Trondheim, 2023.
- [9] COWI, «Miljøprogram Detaljregulering for Kvernbrua,» Trondheim, 2023.
- [10] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering, versjon 1,» Norsk bergmekanikkgruppe, 2011.
- [11] NGU, «Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/. [Funnet 29 03 2023].
- [12] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Funnet 29 03 2023].
- [13] NGU, «Grus og pukk, Grus- og pukkforekomster,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/grus_pukk_mobil/. [Funnet 29 03 2023].
- [14] GEONORGE, «Digital terrengmodell WMS,» [Internett]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/digital-terrengmodell-wms/5a668bef-0e25-46bc-8002-fe284427490c>. [Funnet 29 03 2023].
- [15] H. Fossen, R.-B. Pedersen, S. Bergh og A. Andresen, «En fjellkjede blir til,» i *Landet blir til - Norges geologi*, Trondheim, Norsk Geologisk Forening (NGF), 2007, pp. 178-229.
- [16] Norsk Geologisk Forening (NGF), *Landet blir til - Norges geologi*, Trondheim: Norsk Geologisk Forening (NGF), 2007.
- [17] NVE, «NVE Skredhendelser,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/SkredHendelser>. [Funnet 16 03 2023].
- [18] NVE, «Flomhendelser,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/Flomhendelser>. [Funnet 16 03 2023].
- [19] NVE, «NVE Aktsomhetskart for Steinsprang,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/SteinsprangAktsomhet>. [Funnet 16 03 2023].
- [20] NVE, «NVE Aktsomhetskart for Jord- og Flomskred,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>. [Funnet 16 03 2023].
- [21] NVE, «NVE Bratthetskart,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/bratthet>. [Funnet 16 03 2023].
- [22] NGU, «GRANADA - Nasjonal grunnvannsdatabase,» NGU, [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/. [Funnet 16 03 2023].
- [23] Statens vegvesen, «Prefabrikkerte brubjelker,» Vegdirektoratet, 2019.

- [24] Maptek, «Stereonet,» [Internett]. Available: <https://help.maptek.com/vulcangeologycore/2022.1/topics/menus-and-tools/geotechnical/stereonet.htm>.
- [25] N. Barton og V. Choubey, «The shear strength of rock joints in theory and practice,» Vol. %1 av %210, nr. 1-2, pp. 1-54, 1977.
- [26] A. Høien, B. Nilsen og R. Olsson, «Tunneling av Underground Space technology,» *Elsevier*, pp. 262-278, 2019.
- [27] Standard Norge, «NASJONALT TILLEGG Eurokode 7, Geoteknisk prosjektering (NS-EN 1997-1:2004+A1:2013/NA:2020 (no)),» Standard Norge, 2020.
- [28] Norsk forening for fjellsprenningsteknikk, «Håndbok nr. 11 Bergbolting,» Konsis Grafisk AS, 2020.
- [29] NGI, «Bruk av Q-systemet,» Allkopi AS, Oslo, 2015.
- [30] Standard Norge, «NS8141-1:2022: Vibrasjoner og støt. Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk. Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom,» 2022.
- [31] Standard Norge, «NS 8141-3:2014: Vibrasjoner og støt — Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk — Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire,» 2014.
- [32] Standard Norge, «NS8141-4:2021: Vibrasjoner og støt — Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk — Del 4: Retningslinjer for besiktigelse av byggverk og eiendom før bygge- eller anleggsstart,» 2021.
- [33] Statens vegvesen, «N400 Bruprosjektering,» Vegdirektoratet, 2022.
- [34] E. Hoek, C. Carranza-Torres og B. Corkum, «Hoek-Brown failure criterion - 2002 Edition,» Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002.
- [35] T. Valstad og R. Olsson, «Direkte fundamentering på berggrunnen,» i *Bergmekanikkdagen 2014*, Oslo, Norsk Jord- og Fjellteknisk Forbund, 2014, pp. 29.1-29.29.
- [36] Standard Norge, «Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» Standard Norge, 2020.
- [37] COWI, «Fagrapport geoteknikk - Ny Mjøsbru. NV34E6MR-GTK-RAP-0029,» COWI/Nye Veier, 2022.
- [38] Direktoratet for byggkvalitet, Bygesakforskriften SAK 10, 2016.
- [39] Orica, «Sprengningsteknikk,» 09 06 2021. [Internett]. Available: <https://bergmekanikk.no/wp-content/uploads/2021/06/12.-Espen-Hugaas.pdf>.